



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ  
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH  
TECHNOLOGIÍ  
ÚSTAV MIKROELEKTRONIKY

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION  
DEPARTMENT OF MICROELECTRONICS

## DIGITÁLNÍ TACHOMETR

DIGITAL SPEEDOMETER

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE  
BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE  
AUTHOR

DAVID BAŘINKA

VEDOUCÍ PRÁCE  
SUPERVISOR

doc. Ing. PAVEL ŠTEFFAN, Ph.D.

BRNO 2014



**VYSOKÉ UČENÍ  
TECHNICKÉ V BRNĚ**

**Fakulta elektrotechniky  
a komunikačních technologií**

**Ústav mikroelektroniky**

# Bakalářská práce

bakalářský studijní obor  
**Mikroelektronika a technologie**

**Student:** David Bařinka

**Ročník:** 3

**ID:** 145967

**Akademický rok:** 2013/2014

**NÁZEV TÉMATU:**

**Digitální tachometr**

## POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:

Navrhněte digitální tachometr, který bude zaznamenávat rychlost otáčení kola. Snímanou hodnotu zobrazte na grafickém displeji LCD. Zařízení navrhněte tak, aby umožňovalo kontinuální záznam měřených veličin. Uložená data bude možné zobrazit a zpracovat v PC.

## DOPORUČENÁ LITERATURA:

Podle pokynů vedoucího práce

**Termín zadání:** 10.2.2014

**Termín odevzdání:** 5.6.2014

**Vedoucí práce:** doc. Ing. Pavel Šteffan, Ph.D.

**Konzultanti bakalářské práce:**

**doc. Ing. Jiří Háze, Ph.D.**

*Předseda oborové rady*

## UPOZORNĚNÍ:

Autor bakalářské práce nesmí při vytváření bakalářské práce porušit autorská práva třetích osob, zejména nesmí zasahovat nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a musí si být plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení části druhé, hlavy VI. díl 4 Trestního zákoníku č.40/2009 Sb.

## **Abstrakt**

Tato bakalářská práce je zaměřena na návrh komponentů a praktickou realizací digitálního tachometru. V práci jsou popsány tři základní konstrukce tachometru včetně praktické ukázky, způsoby měření rychlosti a zkoušení tachometrů. Dále jsou popsány principy hlavních komponentů a samotné použité komponenty. Závěr práce se zabývá praktickou realizací digitálního tachometru.

## **Klíčová slova**

Digitální tachometr, Atmega, mikrokontrolér, Hallova sonda, LCD displej, SD karta, rychlost

## **Abstract**

The aim of this bachelor thesis is to design components for practical realization of a digital speedometer. This thesis describes three basic constructions of the speedometr including the practical illustration, the way of measuring the speed and a the speedometr testing. Furthermore, there are described the principles of the main components and used components. The conclusion of the thesis is concerned with the practical realization of the digital speedometer.

## **Keywords**

Digital speedometer, Atmega, microcontroller, Hall sensor, LCD display, SD card, speed

## **Bibliografická citace:**

BAŘINKA, D. *Digitální tachometr*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, 2014. 54 s. Vedoucí bakalářské práce doc. Ing. Pavel Šteffan, Ph.D..

## **Prohlášení autora o původnosti díla:**

Prohlašuji, že svou bakalářskou práci na téma Digitální tachometr jsem vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou všechny citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce.

Jako autor uvedené bakalářské práce dále prohlašuji, že v souvislosti s vytvořením této bakalářské práce jsem neporušil autorská práva třetích osob, zejména jsem nezasáhl nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a jsem si plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujícího autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení části druhé, hlavy VI. Díl 4 Trestního zákoníku č. 40/2009 Sb.

V Olomouci dne 31. 5. 2014

.....

## **Poděkování:**

Děkuji vedoucímu bakalářské práce doc Ing. Pavlu Šteffanovi, Ph.D. za účinnou, metodickou, pedagogickou a odbornou pomoc a další cenné rady při zpracování mé bakalářské práce.

V Olomouci dne 31. 5. 2014

.....

# Obsah

<b>SEZNAM OBRÁZKŮ .....</b>	<b>9</b>
<b>ÚVOD .....</b>	<b>10</b>
<b>1 DOSTUPNÉ TACHOMETRY .....</b>	<b>11</b>
1.1 MECHANICKÉ ANALOGOVÉ TACHOMETRY .....	11
1.2 ANALOGOVĚ DIGITÁLNÍ TACHOMETRY .....	11
1.3 DIGITÁLNÍ TACHOMETRY .....	13
<b>2 ZPŮSOB MĚŘENÍ RYCHLOSTI .....</b>	<b>14</b>
2.1 RYCHLOST .....	14
2.2 JEDNOTKY RYCHLOSTI .....	14
2.3 ZKOUŠENÍ TACHOMETRŮ .....	15
<b>3 HLAVNÍ KOMPONENTY TACHOMETRU .....</b>	<b>17</b>
3.1 LCD DISPLEJ .....	17
3.1.1 <i>Princip funkce LCD displeje</i> .....	17
3.1.2 <i>YB12864ZB</i> .....	18
3.1.3 <i>Zapojení LCD displeje pro sériové ovládání</i> .....	20
3.1.4 <i>Znaková sada Unicode</i> .....	21
3.2 MIKROKONTROLÉR ATMEGA .....	22
3.2.1 <i>Architektura mikrokontroléru</i> .....	22
3.2.2 <i>ATmega 328P</i> .....	24
3.3 HALLOVA SONDA .....	26
3.3.1 <i>Hallův jev</i> .....	26
3.3.2 <i>TLE 4905L</i> .....	27
3.4 SD MODUL .....	30
3.4.1 <i>SD karta</i> .....	30
3.4.2 <i>SPI (Serial Peripheral Interface)</i> .....	32
3.5 RTC OBVOD .....	34
3.5.1 <i>DS1307Z</i> .....	34
3.5.2 <i>I<sup>2</sup>C</i> .....	35
<b>4 PRAKTICKÁ REALIZACE .....</b>	<b>37</b>
4.1 BLOKOVÉ SCHÉMA .....	37
4.2 ARDUINO UNO .....	38
4.2.1 <i>Programování</i> .....	38

4.3	NAPÁJENÍ .....	39
4.4	SNÍMÁNÍ OTÁČEK.....	39
4.5	POPIS FUNKCE TACHOMETRU .....	40
4.6	SCHÉMA JEDNOTLIVÝCH ČÁSTI TACHOMETRU.....	42
4.7	ZKOMPLETOVANÝ TACHOMETR .....	45
<b>ZÁVĚR .....</b>		<b>46</b>
<b>SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY .....</b>		<b>47</b>
<b>SEZNAM PŘÍLOH.....</b>		<b>49</b>



## Seznam obrázků

<b>Obr. 1:</b> Analogově digitální tachometr Tiny [2].....	12
<b>Obr. 2:</b> Digitální tachometr KOSO DB02R [3].....	13
<b>Obr. 3:</b> Základní uspořádání LCD displeje [6].....	17
<b>Obr. 4:</b> Tří-vodičové propojení LCD displeje s modulem Arduino [8] .....	20
<b>Obr. 5:</b> Znaková sada Unicode pro zápis UTF-8.....	21
<b>Obr. 6:</b> Schéma von Neumannovi architektury .....	22
<b>Obr. 7:</b> Schéma Harvardské architektury .....	23
<b>Obr. 8:</b> ATmega 328P v pouzdře PDIP [10] .....	24
<b>Obr. 9:</b> Měděný proužek, kterým protéká proud I.....	27
<b>Obr. 10:</b> Blokové schéma Hallovy sondy [12] .....	28
<b>Obr. 11:</b> Pouzdro P-SSO-3-2 Hallovy sondy TLE 4905L.....	29
<b>Obr. 12:</b> Srovnání pouzdra P-SSO-3-2 s mincí o průměru 20 mm .....	29
<b>Obr. 13:</b> Použitá microSD karta a redukce na SD kartu (pohled ze shora a zespodu) .....	31
<b>Obr. 14:</b> Rozložení pinů na SD kartě.....	31
<b>Obr. 15:</b> Princip propojení více uzlů pomocí sběrnice SPI .....	33
<b>Obr. 16:</b> DS1307 v pouzdře SOIC8 [19] .....	35
<b>Obr. 17:</b> Princip propojení více uzlů pomocí sběrnice I <sup>2</sup> C.....	36
<b>Obr. 18:</b> Průběh komunikace při adresování uzlů pomocí sedmibitové adresy .....	36
<b>Obr. 19:</b> Blokové schéma zapojení.....	37
<b>Obr. 20:</b> Arduino Uno [13].....	38
<b>Obr. 21:</b> Sonda tachometru.....	39
<b>Obr. 22:</b> Zápis dat do souboru na SD kartě .....	40
<b>Obr. 23:</b> Zápis dat do souboru na SD kartě .....	41
<b>Obr. 24:</b> Schéma procesorové části .....	42
<b>Obr. 25:</b> Schéma zapojení LCD displeje .....	42
<b>Obr. 26:</b> Schéma zapojení RTC obvodu.....	43
<b>Obr. 27:</b> Schéma zapojení Hallovy sondy do unipolárního režimu .....	43
<b>Obr. 28:</b> Schéma zapojení SD slotu.....	44
<b>Obr. 29:</b> Schéma napájecí části tachometru .....	44
<b>Obr. 30:</b> Zkompleťovaný tachometr .....	45
<b>Obr. 31:</b> Zkompleťovaný tachometr .....	45

# Úvod

Práce se zabývá teoretickou přípravou, popsáním komponentů a výrobou digitálního tachometru. Je rozdělena do čtyř základních částí.

Ve své první části je přehled současného trhu s tachometry. Vysvětlení principu, výhody, nevýhody dříve používaných mechanických tachometrů, analogově digitálních tachometrů včetně jedné praktické ukázky tohoto typu tachometru a digitálních tachometrů opět včetně ukázky.

Druhá část se věnuje definici průměrné a všeobecné rychlosti včetně vztahů pro jejich výpočet. Seznámení s některými imperiálními jednotkami rychlosti používanými především v anglicky mluvících zemích a vzájemný přepočet mezi těmito jednotkami. Dále pojednává o předpisu evropské hospodářské komise OSN č. 39 o podmínkách a zkoušení tachometrů pro udělení schválení k provozu. O podmínkách při zkoušení, testovacích rychlostech a možných odchylkách tachometrů.

Třetí část se věnuje teoretické části všech hlavních bloků části praktické. Obsahuje princip funkce LCD displeje, popis vybraného LCD displeje, teoretické spojení s procesorem a ukázkou použité znakové sady. Dále popisuje použitý mikrokontrolér ATmega328P, provozní parametry a rozdělení pamětí. Je popsána i vnitřní architektura mikrokontroléru včetně zdůraznění výhod a nevýhod. Popis použité Hallovy sondy s Hallova jevu. Popis SD karty a typu použité paměti, dnešní využití SD karet, výhody a nevýhody SD karet, popis vývodů. Dále popis SPI sběrnice mezi mikrokontrolérem, SD kartou a LCD displejem. Výpis vlastností použitého RTC obvodu a popis I<sup>2</sup>C sběrnice mezi mikrokontrolérem a RTC obvodem.

Poslední čtvrtá část je zaměřena na samotnou praktickou realizaci a obsahuje blokové schéma, popis použitého programátoru Arduino Uno, použitý typ napájení a jeho odůvodnění, snímač otáček, elektrické schéma a popis funkce tachometru. Nakonec je popsána funkce tachometru a zpracování dat ukládaných na SD kartu.

# 1 Dostupné tachometry

## 1.1 *Mechanické analogové tachometry*

Jedny z prvních tachometrů byly mechanické s analogovým ukazatelem. Otáčky jsou přenášeny ohebnou hřídelí (tzv. bowdenem) z náboje kola nebo motoru do přístroje tachometru. Na konci této hřídele, v prostoru přístroje, je připojen rotující magnet, který svým otáčením vytváří rotující magnetické pole. Tento magnet je umístěn v hrníčku z elektricky vodivého materiálu, ve kterém se vlivem rotujícího magnetického pole indukuje napětí. Jelikož je hrníček vodivý, tak toto indukované napětí vytváří elektrický proud do závitu nakrátko. Tento elektrický proud posléze vytvoří magnetické pole, které působí proti původnímu rotujícímu magnetickému poli a hrníček, mechanicky spojen s ručičkou tachometru, je unášen. Aby nedošlo k točení ručičky dokola, je k hřídelce připevněna direktivní pružina, která tlačí ručičku (společně s hrníčkem) zpět k nule. Pro větší výchylku je tedy potřeba většího krouticího momentu neboli větších otáček rotujícího magnetu.

## 1.2 *Analogově digitální tachometry*

Jsou tachometry využívající současných přesných měřících prvků při zachování klasického ručičkového zobrazení. Existují prakticky dva způsoby měření otáčení. Tím prvním je měření otáček předního popř. zadního kola. Tato metoda je sice přesná, ale pro průmyslovou výrobu a vysoké rychlosti v sobě skrývá řadu nevýhod. V dnešní průmyslové výrobě motocyklů je na jednom z prvních míst finální vzhled motocyklů, kde je brán ohled i na nejmenší detaily. Při měření impulzů z předního kola však musí být na jednom z tlumičů připevněno čidlo (Hallova sonda, magnetický kontakt) a ve středu kola snímáný objekt (magnet). Tyto prvky příliš nesplňují požadavky na vzhled motocyklu. Snímáný objekt ve středu kola může být velkým problémem při vyvážení samotného kola, což při běžně dosahovaných rychlostech přes 300 km/h může způsobit nestabilitu kola.

Druhou metodou a v současné době jedinou průmyslově využívanou metodou je umístění čidla do převodové skříně motoru. Zde už je využíváno pouze Hallovy sondy, která je svou aktivní plochou namířena na některé z ozubených kol, které se otáčí rychlostí přímo úměrnou rychlosti vozidla (rychlosti poháněného kola vozidla). Tato metoda je mnohem praktičtější s převažujícími výhodami nad nevýhodami. Jedinou možnou nevýhodou je případná porucha či uvolnění čidla. Porouchané čidlo bude o něco těžší vyměnit, když bude umístěno uvnitř bloku motoru a při uvolnění může mít na činnost motoru devastující efekt. Takto snímáné impulzy jsou poté zpracovány řídicí jednotkou, která změří čas mezi příchody pulzů a podle zadaného vzorce stanoví rychlost vozidla. Tato rychlost se následně převede na polohu nastavenou krokovým motorem, který na své hřídeli drží ručičku tachometru.

Příkladem univerzálního analogově digitálního tachometru může být tachometr Tiny



**Obr. 1:** Analogově digitální tachometr Tiny [1]

Zobrazovaná rychlost tachometru do 200 km/h analogově popř. do 999 km/h digitálně. Zobrazení aktuálního času, celkově ujetá vzdálenost, denní počítadlo kilometrů, možnost přepnutí na mph jak na analogovém, tak i na digitálním zobrazovači, přídavné kontrolky aktuálního stavu motocyklu, možnost připojení na snímač předního kola nebo přímo do řídicí jednotky motocyklu. Cena 239 €  $\approx$  6531 Kč [2].

### 1.3 Digitální tachometry

Jsou nejmodernější z dnes používaných tachometrů. Princip snímání je stejný jako u analogově digitálních tachometrů. Výhod oproti ručičkovému tachometru je však několik. Po praktické a spolehlivostní stránce je to vynechání krokového motoru, tedy jediné mechanické součásti citlivé na vibrace, otřesy a nečistoty. Další výhodou je, že na digitálním tachometru je možno, ať už současně nebo střídavě, zobrazovat více měřených informací. Nevýhodou může být horší čitelnost a potřebná delší doba na zjištění údaje.

Příkladem univerzálního, ryze digitálního tachometru může být tachometr KOSO DB02R



**Obr. 2:** Digitální tachometr KOSO DB02R [2]

Rychloměr, otáčkoměr, stav kilometrů, denní počítadlo kilometrů, kontrolka stavu paliva, maximální rychlost. Možnost měření v km/h a mph. Měření rychlost do 360 km/h nebo 223 mph. Vestavěné kontrolky s nastavitelnou funkcí. Cena 150 €  $\approx$  4123 Kč [2].

## 2 Způsob měření rychlosti

### 2.1 Rychlost

Průměrná rychlost je skalární veličinou udávající podíl dráhy  $s$ , který hmotný bod urazil za čas  $t$ . Jak můžeme vidět ze vztahu (1), tak průměrná rychlost neobsahuje žádnou informaci o tom, jakou rychlost měl hmotný bod v daném okamžiku. Informuje nás pouze o uražené vzdálenosti hmotného bodu za jednotku času.

$$v_p = \frac{s}{t} \quad (1)$$

Velikost okamžité rychlosti hmotného bodu v čase definujeme jako podíl přírůstku  $s$ , k němuž dojde za čas  $t$ . Okamžitá rychlost je vektorovou fyzikální veličinou. Její směr vždy představuje tečna k dané trajektorii hmotného bodu. Okamžitou rychlost nejlépe pochopíme ze vztahu (2)

$$\vec{v} = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta s}{\Delta t} \quad (2)$$

Pokud bychom chtěli vzorec (2) popsat slovně, tak okamžitou rychlost v daném bodě trajektorie v daném čase je definována jako průměrná rychlost ve velmi malém časovém intervalu na velmi malém úseku trajektorie.

Rychlost dále rozdělujeme podle průběhů velikosti na:

- Rovnoměrný – velikost rychlosti se nemění, je konstantní.
- Nerovnoměrný – velikost rychlosti se mění.

U tohoto rozdělení je však potřeba zdůraznit, že u něj nezáleží na směru rychlosti. [3]

### 2.2 Jednotky rychlosti

Základní jednotkou rychlosti je podle soustavy SI metr za sekundu ( $\text{m.s}^{-1}$ ). V běžné praxi, s přihlédnutím na téma této semestrální práce, se však více využívá jejího násobku kilometrů za hodinu ( $\text{km.h}^{-1}$ ). V některých (převážně anglicky mluvících) zemích se však používají tzv. imperiální jednotky. V tomto případě se jedná o jednotku míle za hodinu (mph z angl. miles per hour). Přepoččet mezi metrickým systémem a imperiálními jednotkami je v Tab. 1.

**Tab. 1:** Přepočítání mezi imperiálními jednotkami a metrickým systémem

	m/s	km/h	mph
m/s	1	3,600000	2,236936
km/h	0,277778	1	0,621371
mph	0,447040	1,609344	1

### 2.3 Zkoušení tachometrů

Revize a měření tachometrů se řídí předpisem “EHK/OSN č. 39 (evropské hospodářské komise OSN) - Jednotná ustanovení pro schvalování vozidel, pokud jde o rychloměrné zařízení včetně jeho montáže“.

Obsahem tohoto předpisu jsou velmi přísné podmínky, za kterých je možné testovat tachometry vozidel kategorií L (motocykly, tříkolky, čtyřkolky), M (osobní automobily, autobusy, drážní vozidla) a N (nákladní automobily).

Testování může proběhnout zejména pokud:

- Je vozidlo osazeno standardně montovanými pneumatikami, jimiž výrobce vybavuje dotýčný typ vozidla, přičemž pneumatiky pro jízdu na sněhu se nepovažují za standardně montované pneumatiky.
- Jsou pneumatiky nahuštěny na hodnotu za studena danou výrobcem vozidla zvýšenou o 0,2 baru.
- Je vozidlo v pohotovostním režimu včetně všech náplní a obsazeno řidičem o hmotnosti 75 kg. Pro účely měření však předpis dovoluje použít přídavné hmotnosti.
- Referenční teplota v místě rychloměru musí být  $23\text{ °C} \pm 5\text{ °C}$
- Povrch zkušební trati musí být v době použití rovný, suchý a musí zajišťovat dostatečnou adhezi.
- Použije-li se pro zkoušku válcový dynamometr, průměr válce by měl být nejméně 0,4 m.
- Přesnost zkoušecího zařízení používaného k měření skutečné rychlosti vozidla musí být  $\pm 0,5\%$

Při splnění těchto nejdůležitějších podmínek se přistoupí ke zkoušení tachometru v závislosti na jeho konstrukční rychlosti podle Tab. 2.

**Tab. 2:** Tabulka závislosti zkušební rychlosti tachometru na konstrukční rychlosti vozidla

Maximální konstrukční rychlost ( $V_{MAX}$ ) vozidla uvedená výrobcem vozidla ( $\text{km.h}^{-1}$ )	Zkušební rychlost ( $V_1$ ) ( $\text{km.h}^{-1}$ )
$V_{MAX} \leq 45$	$80 \% V_{MAX}$
$45 < V_{MAX} \leq 100$	$40 \text{ km.h}^{-1}$ a $80 \% V_{MAX}$ (je-li výsledná rychlost $\geq 55 \text{ km.h}^{-1}$ )
$100 < V_{MAX} \leq 150$	$40 \text{ km.h}^{-1}$ , $80 \text{ km.h}^{-1}$ a $80\% V_{MAX}$ (je-li výsledná rychlost $\geq 100 \text{ km.h}^{-1}$ )
$150 < V_{MAX}$	$40 \text{ km.h}^{-1}$ , $80 \text{ km.h}^{-1}$ a $120 \text{ km.h}^{-1}$

Udávaná rychlost nesmí být menší než skutečná rychlost vozidla. Při zkušebních rychlostech uvedených v Tab. 2 musí být mezi zobrazenou rychlostí ( $V_Z$ ) a skutečnou rychlostí ( $V_S$ ) vztah (3) .

$$0 \leq (V_Z - V_S) \leq 0,1.V_S + 4 \text{ km.h}^{-1} \quad (3)$$

Tento výše zmíněný předpis však kromě přesnosti tachometru specifikuje také umístění displeje tachometru a to tak aby byl v zorném poli řidiče a čitelný jak ve dne, tak v noci. Předepisuje také cejchování tachometrů a intervaly popisů [4].



## 3 Hlavní komponenty tachometru

### 3.1 LCD displej

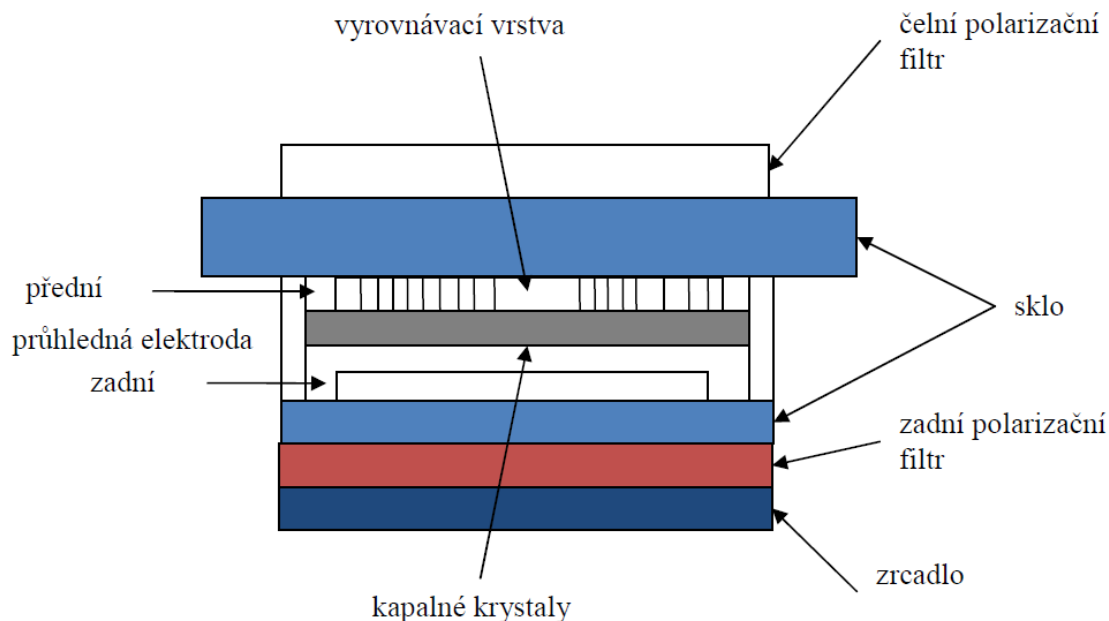
LCD displej tvoří hlavní a jedinou část tachometru, se kterou uživatel přijde při běžném užívání do styku. Pro navržený typ tachometru byl vybrán grafický displej, který je variabilní vzhledem k požadavkům na zobrazované informace.

#### 3.1.1 Princip funkce LCD displeje

LCD je zkratka anglického označení Liquid Crystal Display, tedy displej s kapalnými krystaly.

Kapalné krystaly jsou kapaliny, které vlivem tepla nebo elektrického pole mění svou průhlednost nebo zbarvení. Prakticky se kapalné krystaly používají v tzv. mezoformním stavu (teplotní rozpětí mezi táním a přeměnou na izotropní kapalinu), kdy si zachovávají krystalické molekulární uspořádání. Působením elektrického pole dochází k natočení molekul kapalného krystalu. Mluvíme o dynamickém rozptylu světla. Navenek se tento jev projeví zakalením.

LCD displeje potřebují pro svou činnost zdroj světla (nesvítí – jsou opticky pasívní). Buď se využívá vnějšího světla, které dopadá na spodní elektrodu a zakalený obraz pozorujeme v jeho odrazu. Druhou možností jsou displeje s podsvícením, které mají vlastní světelný zdroj, takže obraz lze pozorovat i za tmy.



Obr. 3: Základní uspořádání LCD displeje [5]

LCD displej lze řídit jak stejnosměrným, tak i střídavým napětím (nezáleží na polaritě). Nicméně použití stejnosměrného napětí vede při dlouhodobém provozu k elektrochemickému rozkladu kapalného krystalu, tedy jeho zničení. Proto se důsledně používá střídavé napětí. Ovládací napětí pro LCD displej se pohybuje v rozmezí asi 10 až 20 V.

Z výše uvedeného plyne, že samotný LCD displej se ovládá dosti komplikovaně. Proto se většinou používají tzv. LCD moduly. Ty kromě LCD displeje obsahují řadič, někdy je těchto obvodů více, zajišťující poměrně jednoduché připojení k mikrokontrolérům. Dále je zde násobič, který získá vyšší napětí pro samotný LCD displej. Často se používají i zdroje záporného napětí pro snazší nastavení kontrastu [5].

### **3.1.2 YB12864ZB**

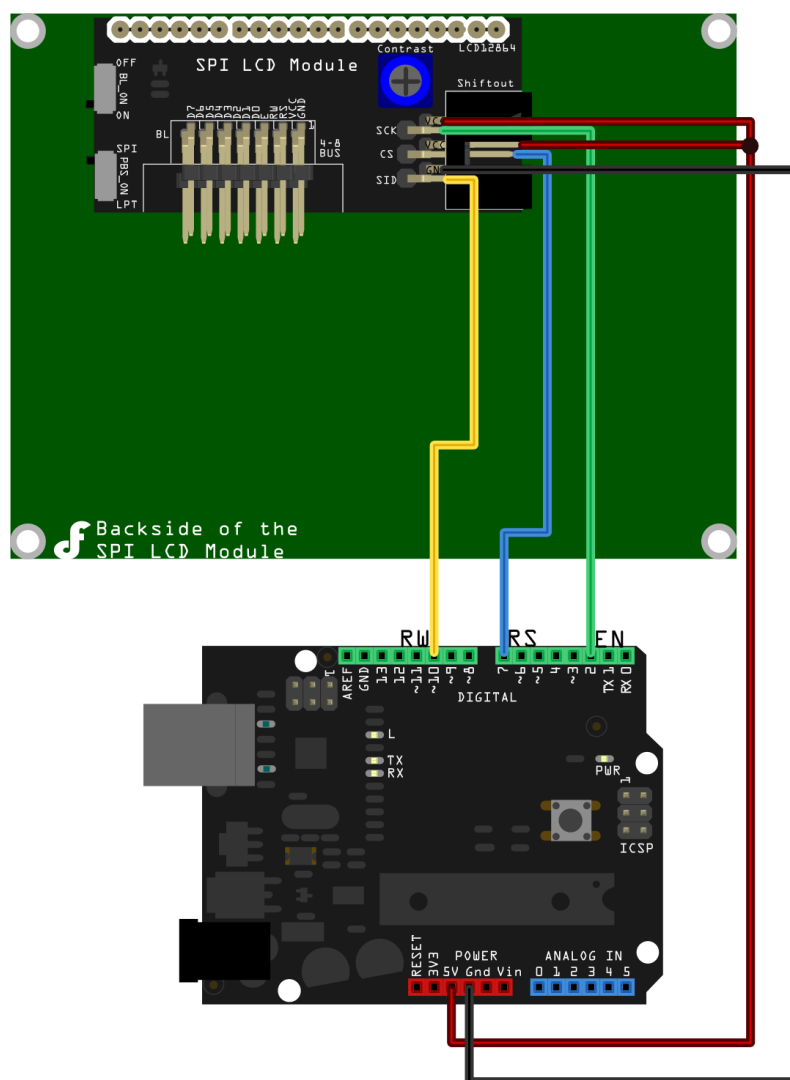
Pro praktickou práci byl vybrán tento LCD displej s rozlišením 128 x 64 bodů a typem zobrazení STN. Displej je ovládán kontrolérem ST7920.

Displej obsahuje celkem 20 vývodů, z čehož je 12 určeno pro řízení displeje. Vzhledem k tomu, že ATMEGA 328P s nainstalovaným bootloaderem obsahuje celkem 14 vstupních /výstupních ovládacích pinů, bylo by toto zapojení poněkud neefektivní a pro další práci nepraktické. Displej je tedy řízen pomocí třech řídících vodičů a programové knihovny, která převede požadované zobrazení pro sériové periferní rozhraní (SPI) [6].

**Tab. 3:** Vývody LCD displeje YB12864ZB [6]

Číslo pinu	Označení	Úroveň	Popis	
			Paralelní ovládání	Sériové ovládání
1	GND	0 V	Zemnicí potenciál	
2	VCC	5 V	Napájení logických obvodů	
3	V0	-	Nastavení kontrastu	
4	RS	1/0	1: Data 0: Příkaz	1: Povolení transferu dat 0: Reset sériového datového čítače
5	R/W	1/0	1: Čtení 0: Zápis	Sériový datový vstup
6	E	1, 1/0	Povolovací signál	Sériový hodinový vstup
7 – 14	DB0 – DB7	1/0	Datová sběrnice	Nepřipojeno
15	PSB	1/0	1: Paralelní rozhraní 0: Sériové rozhraní	
16	NC	-	Nepřipojeno	
17	RST	L	Reset signálu	
18	VOUT	-	Výstupní napětí pro řízení LCD	
19	BLA	0 V	Zemnicí potenciál pro LED podsvícení	
20	BLK	5 V	Napájení pro LED podsvícení	

### 3.1.3 Zapojení LCD displeje pro sériové ovládání



**Obr. 4:** Tří-vodičové propojení LCD displeje s modulem Arduino [7]

Na Obr. 4 lze vidět propojení modulu Arduino s LCD displejem v tří-vodičovém provedení. Celkově je tedy k provozu LCD displeje potřeba pouze 5 vodičů (2 napájecí a 3 signálové) toto umožňuje elektivnější využití vstupních/výstupních ovládacích pinů. Popis tří-vodičového zapojení (SPI) je vysvětlen v kapitole 3.4.2.

### 3.1.4 Znaková sada Unicode

Pro zasílání znaků na displej se používá znaková sada Unicode, která každému světovému znaku přiřazuje jedinečné číslo. Tato znaková sada se dále dělí podle druhu zápisu. LCD displej YB12864ZB využívá zápisu UTF-8, jenž se nachází na Obr. 5. Na tomto obrázku můžeme vidět znak, ke kterému je přidáno číslo v paměti pod kterým jej program volá.

32	64	@	96	'	128	160	192	À	224	à
33	65	A	97	a	129	161	193	Á	225	á
34	66	B	98	b	130	162	194	Â	226	â
35	67	C	99	c	131	163	195	Ã	227	ã
36	68	D	100	d	132	164	196	Ä	228	ä
37	69	E	101	e	133	165	197	Å	229	å
38	70	F	102	f	134	166	198	Æ	230	æ
39	71	G	103	g	135	167	199	Ç	231	ç
40	72	H	104	h	136	168	200	È	232	è
41	73	I	105	i	137	169	201	É	233	é
42	74	J	106	j	138	170	202	Ê	234	ê
43	75	K	107	k	139	171	203	Ë	235	ë
44	76	L	108	l	140	172	204	Ì	236	ì
45	77	M	109	m	141	173	205	Í	237	í
46	78	N	110	n	142	174	206	Î	238	î
47	79	O	111	o	143	175	207	Ï	239	ï
48	80	P	112	p	144	176	208	Ð	240	ð
49	81	Q	113	q	145	177	209	Ñ	241	ñ
50	82	R	114	r	146	178	210	Ò	242	ò
51	83	S	115	s	147	179	211	Ó	243	ó
52	84	T	116	t	148	180	212	Ô	244	ô
53	85	U	117	u	149	181	213	Õ	245	õ
54	86	V	118	v	150	182	214	Ö	246	ö
55	87	W	119	w	151	183	215	×	247	÷
56	88	X	120	x	152	184	216	Ø	248	ø
57	89	Y	121	y	153	185	217	Ù	249	ù
58	90	Z	122	z	154	186	218	Ú	250	ú
59	91	[	123	{	155	187	219	Û	251	û
60	92	\	124		156	188	220	Ü	252	ü
61	93	]	125	}	157	189	221	Ý	253	ý
62	94	^	126	~	158	190	222	Þ	254	þ
63	95	_	127		159	191	223	ß	255	ÿ

**Obr. 5:** Znaková sada Unicode pro zápis UTF-8

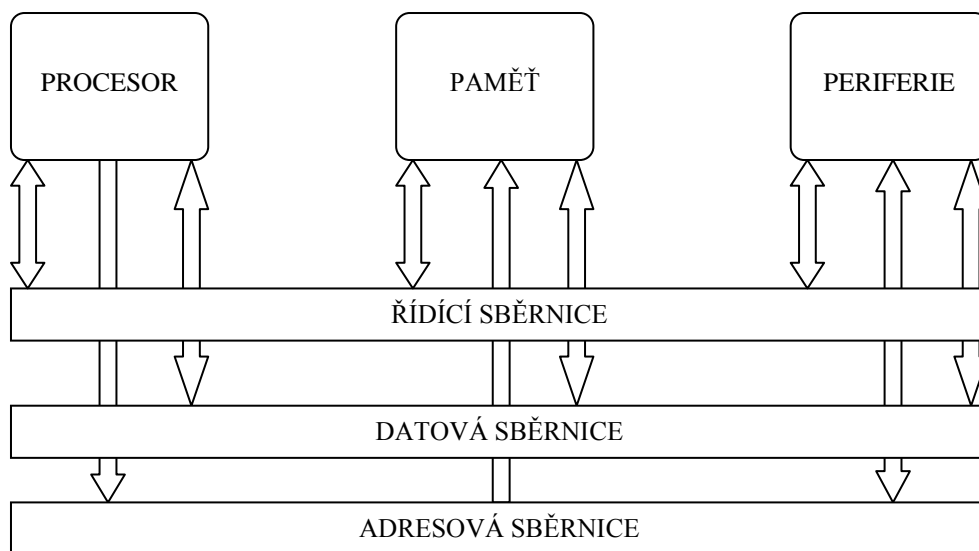
## 3.2 Mikrokontrolér ATmega

Mikrokontroléry ATmega jsou jednočipové osmibitové kontroléry, které jsou společností Atmel vyvíjeny od roku 1996. Díky své jednoduchosti, rychlosti a multifunkčnosti jsou velmi oblíbené ať už pro komerční aplikace, tak pro amatérské využití. Své využití naleznou v aplikacích, kde je zapotřebí čítačů, časovačů, A/D převodníků atd.

### 3.2.1 Architektura mikrokontroléru

Každý počítač či mikrokontrolér je potřeba nechat jako jednotný ucelený prvek, ale prvek skládající se z několika menších částí, kdy teprve jejich vzájemné propojení a soulad vytváří funkční celek. U mikrokontrolérů prakticky rozeznáváme dva typy architektur.

Prvním modelem je **von Neumannova architektura**, která při využití jedné jediné sběrnice propojuje všechny aktivní prvky, jakými jsou: procesor, paměť, vstupy a výstupy. Schéma von Neumannovi architektury je na Obr. 6.



Obr. 6: Schéma von Neumannovi architektury

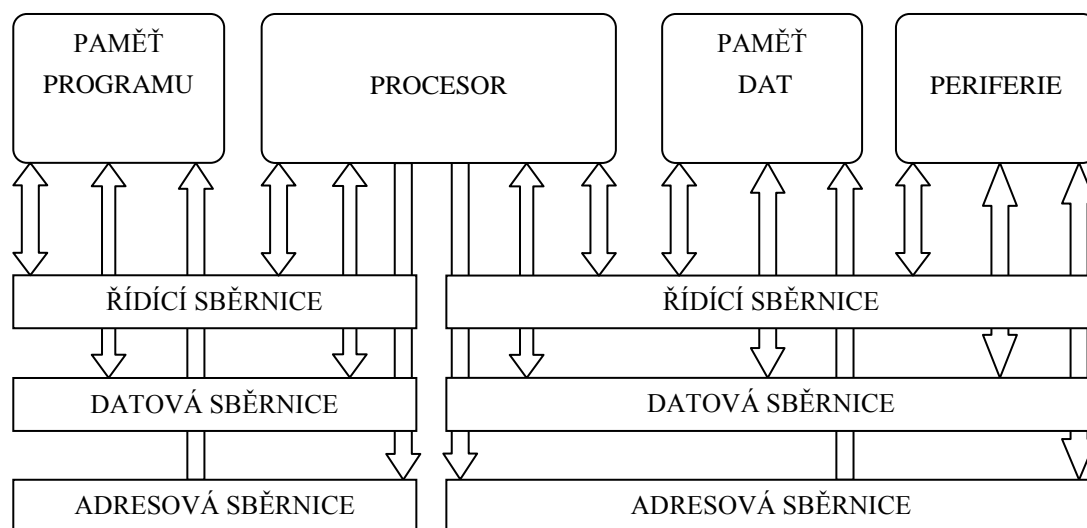
Výhody:

- Rozdělení paměti pro program a data určuje programátor.
- Řídící jednotka procesoru přistupuje do paměti pro data i pro instrukce jednotným způsobem.

Nevýhody

- Společné uložení dat a kódu může mít při chybě za následek přepsání vlastního programu.
- Jediná sběrnice tvoří velký datový tok.

Druhým modelem je **Harvardská architektura**, která původně vychází z von Neumannovi architektury, ovšem odstraňuje některé její nedostatky. Tou základní a z Obr. 7 na první pohled viditelnou je oddělení paměti pro program a data. Programátor si tedy již nemůže přidělit místo pro program a pro data.



**Obr. 7:** Schéma Harvardské architektury

Výhody:

- Výhody pramenící z oddělení paměti pro data a pro program:
  - Program nemůže přepsat sám sebe.
  - Paměti mohou být vyrobeny odlišnými technologiemi.
  - Každá paměť může mít jinou velikost nejmenší adresovací jednotky.
  - Dvě sběrnice umožňují jednoduchý paralelizmus, kdy lze současně přistupovat k datům i instrukcím.

Nevýhody:

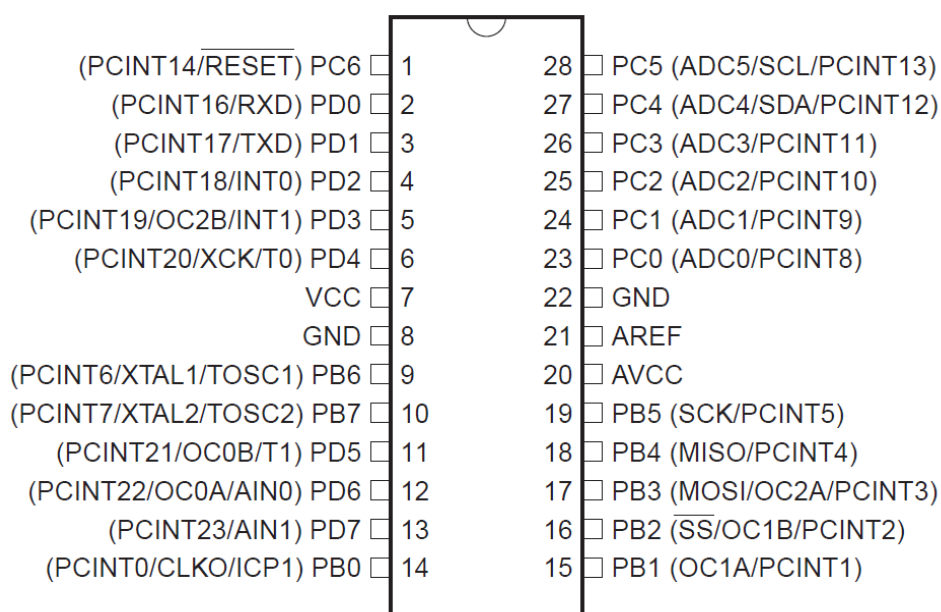
- Dvě sběrnice kladou vyšší nároky na vývoj řídicí jednotky procesoru a zvyšují i náklady na výrobu výsledného mikroprocesoru
- Nevyužitou část paměti dat nelze použít pro program a obráceně

Právě tato Harvardská architektura se používá u mnou zvoleného mikroprocesoru ATMEGA 328P [8].

### 3.2.2 ATmega 328P

Tento mikrokontrolér byl vybrán, protože je hlavním stavebním prvkem použité vývojové desky Arduino Uno, která je využita jako programátor pro tento obvod. Jedná se o jednu z vyšších řad jednočipů AVR.

V našem případě vývojové desky Arduino Uno je čip zapouzdřen v pouzdře PDIP (Plastic Dual Inline Package) s 28 vývody. Jeho pouzdro včetně vývodů je na Obr. 8. Toto pouzdro je vybráno z důvodu snadného přenášení mezi programátorem a modulem tachometru. Dále je čip vyráběn v pouzdře TQFP (Thin Quad Flat Package), 28 MLF (Micro Lead Frame s 28 vývody) a 32 MLF (Micro Lead Frame s 32 vývody). Poslední jmenovaná varianta je využívána u vývojové desky Arduino Uno SMD.



**Obr. 8:** ATmega 328P v pouzdře PDIP [9]



Napájení mikroprocesoru a nejdůležitější vstupní a výstupní veličiny popisuje Tab. 4.

**Tab. 4:** Provozní parametry mikrokontroléru ATmega 328P

<i>SYMBOL</i>	<i>PARAMETR</i>	<i>MIN</i>	<i>MAX</i>	<i>JEDNOTKA</i>
$T_{USE}$	<i>Provozní teplota</i>	-55	125	°C
$V_{CC}$	<i>Napájecí napětí</i>	1,8	5,5	V
$V_{IN}$	<i>Vstupní napětí</i>	-0,5	$V_{CC} + 0,5V$	V
$V_{OH}$	<i>Výstupní napětí při 1</i>	4,2		V
$V_{OL}$	<i>Výstupní napětí při 0</i>		0,9	V
$I_{CC}$	<i>Odebíraný proud</i>		200	mA
$I_O$	<i>Proudové zatížení pinu</i>		20	mA
$I_I$	<i>Vstupní proud pinu</i>		1	$\mu A$

Paměti jsou nedílnou součástí každého mikrokontroléru. Zvolený mikrokontrolér ATmega328P má celkem tři druhy pamětí:

- **Flash** paměť, ve které jsou uloženy programové instrukce. Ačkoliv je mikrokontrolér osmibitový, každá instrukce se skládá z jednoho nebo dvou šestnáctibitových slov. Velikost této paměti je u mikrokontrolérů vyráběných firmou Atmel značena vždy jako první dvojčíslí za typem obvodu. U našeho obvodu ATmega 328P představuje tedy číslovka 32 velikost Flash paměti v kB. Flash paměť uchová program i po odpojení napájení a je možné ji přepsat až 10 000 krát.
- **EEPROM** paměť (Electrically Erasable Programmable Read-Only Memory). Již z názvu vyplývá, že se jedná o elektronicky mazatelnou paměť, která (stejně jako flash) paměť uchová svůj obsah i po odpojení napájení. Na rozdíl od svého předchůdce EPROM však pro přepsání není nutné mazat celou paměť, ale je možné smazat jen konkrétní bajt. Nevýhodou oproti výše zmíněné flash paměti jsou malá kapacita a nižší rychlost (čtení, mazání, zápis, přístupová doba). Tato paměť se v mikroprocesoru používá pro uchování různých proměnných, u kterých je důležité, aby byla jejich hodnota obnovena po opětovném připojení elektrického napájení. Je možné ji přepsat až 100 000 krát za použití paměti 1 kB. Vzhledem k omezenému počtu přepsání je nutné tuto paměť používat obezřetně, jelikož chyba v programu může tuto paměť zničit během několika sekund.
- Poslední paměť je **SRAM** (Static Random Access Memory) o celkové velikosti 2 kB. Informaci v sobě uloženou uchovává pouze do odpojení zdroje elektrického napájení. Používá se tedy převážně pro často měnící se data, jako jsou například

časovače a čítače. Další výhodou tohoto typu paměti je nízká přístupová doba, která se pohybuje řádově v desítkách ns [9].

### **3.3 Hallova sonda**

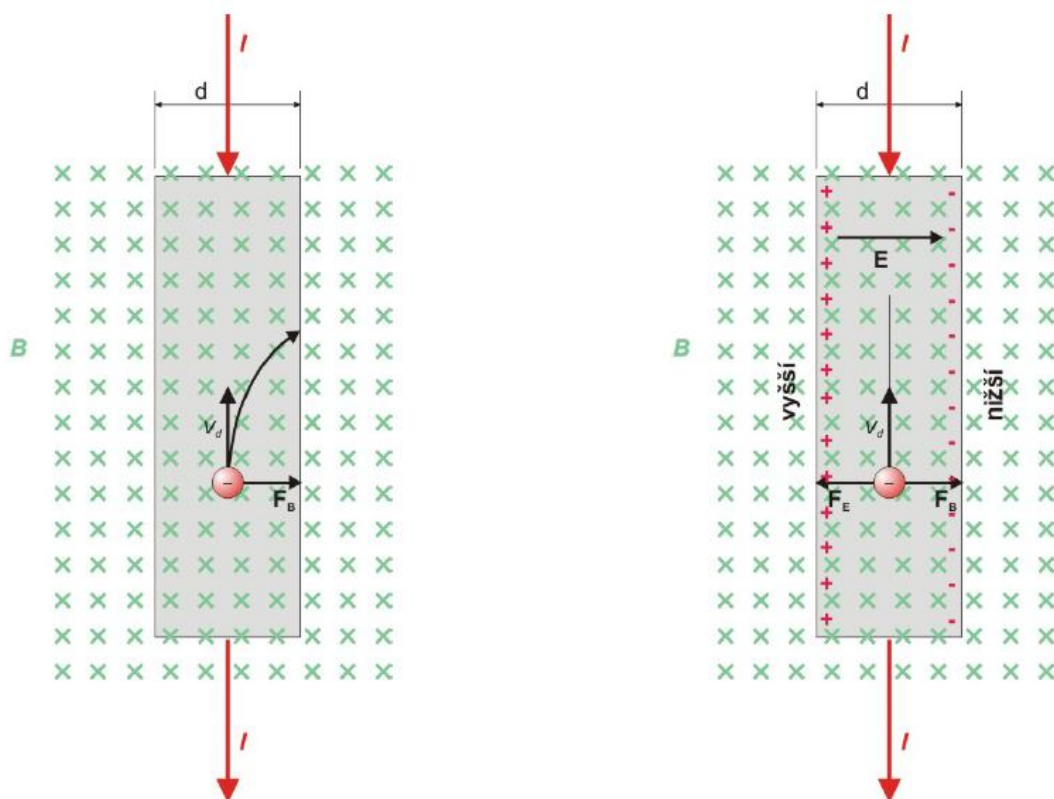
Naprostá většina volně prodávaných tachometrů se snímáním pomocí magnetu používá pro snímání otáček kola jazýčkový magnetický senzor. Pro svou práci jsem se ovšem rozhodl použít Hallovu sondu, aby byla předvedena alternativa k běžně používanému senzoru.

#### **3.3.1 Hallův jev**

Hallův jev byl objeven v roce 1879 Edwinem Herbertem Hallem. Základní myšlenka tohoto jevu pojednává o tom, že vodivostní elektrony lze vychýlit magnetickým polem. Tímto vychýlením je následně možné zjistit, zda náboj nosičů proudu je kladný nebo záporný a počet těchto nosičů v objemové jednotce vodiče. Ačkoliv původně Hall při tomto experimentu pracoval s velmi tenkými kovovými fóliemi a velkou koncentrací elektronů, dnešní Hallovy sondy obsahují plátek polovodiče s relativně malou koncentrací nosiče nábojů.

Na Obr. 9 je měděný vodič ve tvaru obdélníku o šířce  $d$ , kterým protéká elektrický proud  $I$  ve směru dolů. Nosiče náboje jsou v tomto případě elektrony pohybující se s driftovou rychlostí  $v_d$  ve směru opačném. Celý proužek je umístěn ve vnějším homogenním magnetickém poli  $B$ , které je kolmé k rovině Obr. 9 a vektor magnetické indukce směřuje od nás.

Při pohledu na vztah 4 je zřejmé, že síla magnetického pole na pohybující se náboj  $F_B$  bude působit na každý elektron pohybující se driftovou rychlostí tak, že ho bude tlačit k pravé straně proužku, viz Obr. 9 vpravo [10].



**Obr. 9:** Měděný proužek, kterým protéká proud  $I$ , v magnetickém poli  $B$ . Vlevo – situace okamžitě po zapnutí magnetického pole. Vpravo - ustálená situace, která se vytvoří brzy po zapnutí [10]

$$F_B = Q_V \times B \quad (4)$$

Během malé chvíle se elektrony pohybující se doprava nahromadí na pravé straně proužku, takže zanechají na levé straně proužku nevykompenzované kladné náboje. Tím vzniká elektrické pole o intenzitě  $E$  uvnitř proužku. Výsledkem tohoto Hallova jevu, potažmo rozdílu potenciálů je Hallovo napětí  $U_H$  vzniklé na vzdálenost  $d$ .

$$U_H = E \cdot d \quad (5)$$

Při připojení voltmetru k bočním stranám proužku je možné Hallovo napětí přímo změřit. Pro zjištění znaménka nosiče náboje je potřeba zjistit, který z okrajů má vyšší potenciál [10].

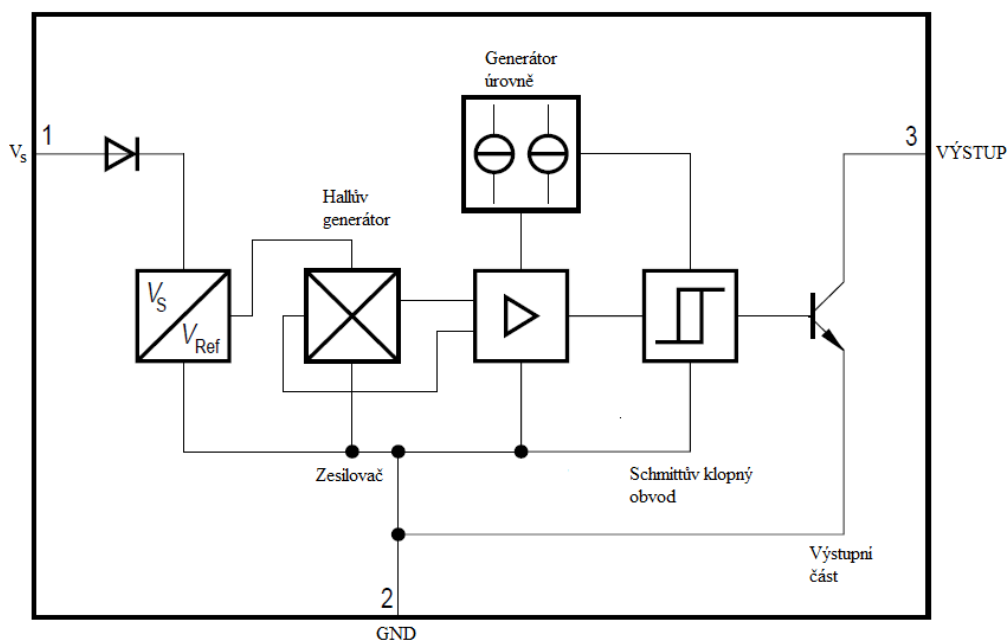
### 3.3.2 TLE 4905L

Jedná se o unipolární a bipolární Hallovu sondu s přepínačem určenou pro aplikace s magnetickým polem. Tato sonda bude použita v praktické části pro snímání otáček kola motocyklu. Dokumentace k této sondě uvádí, že typickou aplikací pro Hallovu sondu s přepínačem je indikátor přítomnosti.

Vlastnosti:

- Teplotně kompenzovaný magnetický výkon.
- Digitální výstupní signál.
- Pro unipolární a střídavé magnetické pole.
- Široký teplotní rozsah.
- Ochrana proti převrácené polaritě.
- Výstupní ochrana proti elektrickému rušení.

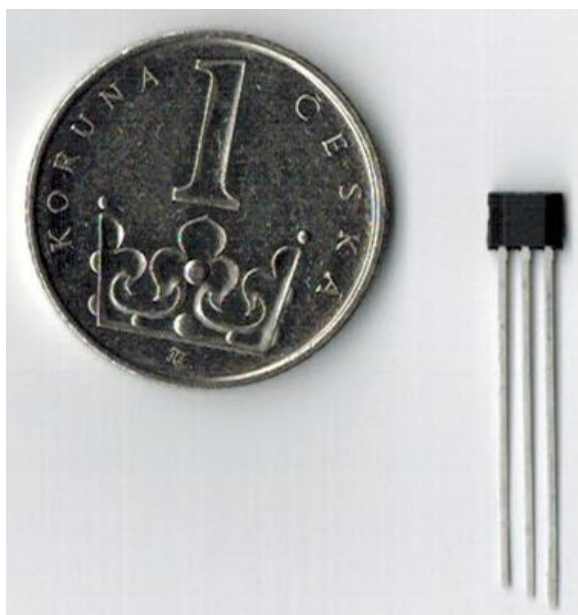
Jak je vidět na Obr. 10, Hallova sonda se skládá ze třech hlavních komponent. Hallova generátoru, zesilovače a Schmittova klopného obvodu. Vnitřní reference zajišťuje napájení pro všechny komponenty. Magnetické pole projde povrchem čipu a generuje napětí na Hallově sondě. Toto napětí je zesíleno a překlápí Schmittův klopný obvod s výstupem na otevřený kolektor. [11]



**Obr. 10:** Blokové schéma Hallové sondy [11]



**Obr. 11:** Pouzdro P-SSO-3-2 Hallový sondy TLE 4905L



**Obr. 12:** Srovnání pouzdra P-SSO-3-2 s mincí o průměru 20 mm

### **3.4 SD modul**

Pro vhodný přenos dat se záznamem jízdy mezi tachometrem a počítačem byla zvolena metoda ukládání na SD kartu. Jedná se zřejmě nejjednodušší možnost zápisu dat z procesoru na přenosné médium.

#### **3.4.1 SD karta**

Je paměťová karta používaná v přenosných zařízeních (smartphony, digitální fotoaparáty, tablety...) vytvořena mezi lety 1997 a 1998 jako nástupce MMC (Multi Media Card). Hlavním rozdílem byla možnost kartu uzamknout tak, že na kartu nebylo možné ukládat, ani jakkoliv měnit data uložená na ní. Odtud plný název zkratky SD – Secure Digital.

Základem všech paměťových karet je paměť typu flash, což je prakticky jen název pro paměti typu EEPROM, která vychází z pamětí EPROM (Erasable Programmable Read-Only Memory), jenž bylo možné pomocí ultrafialového záření vymazat a pomocí programátoru znovu naprogramovat. Samozřejmostí těchto EEPROM pamětí resp. flash pamětí je jejich uchování dat bez přístupu elektrické energie a to po dobu až několika desítek let. Další výhodou, jež přišla s paměťovými kartami je jejich mechanická odolnost, zejména díky tomu, že paměť neobsahuje žádné mechanické součásti. Odolnost proti otřesům by se teoreticky měla pohybovat v hodnotách okolo 1000 G [14]

Výhody paměťových karet [15]

- Mechanicky odolné
- Nižší spotřeba
- Vyšší přenosové rychlosti
- Nehlučné, menší, lehčí, dobře přenosné
- Kratší čas potřebný k alokaci dat

Nevýhody paměťových karet [15]

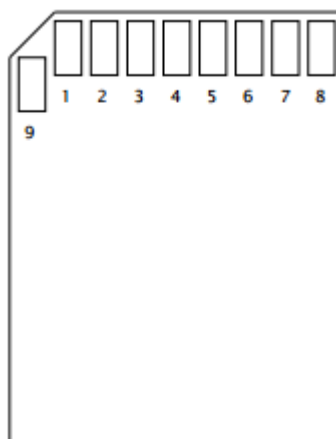
- Omezená životnost daná maximálním počtem fyzických přepisů jednoho paměťového místa
- Různé typy použitých čipů mají rozdílné ceny a životnost
- Mnohem jednodušší nenávratné smazání všech dat

V praktické realizaci této bakalářské práce byla jako úložné médium použita karta microSD o velikosti 2 GB. Tato kapacita je nadmíru dostačující, jelikož záznam z dvou-

hodinového používání má přibližně 10 kB. Tato karta je používána společně s redukcí na SD kartu, jelikož použití slotu pro SD kartu na místo přímo microSD je mnohem jednodušší pro ruční pájení (vznik můstků, zničení plastové části slotu). Použitá microSD karta včetně redukce na klasickou SD kartu je na Obr. 13. Rozložení pinů na SD kartě je na obr. Obr. 14 a popis jejich v Tab. 5



**Obr. 13:** Použitá microSD karta a redukce na SD kartu (pohled ze shora a zespodu)



**Obr. 14:** Rozložení pinů na SD kartě

**Tab. 5:** Popis pinů SD karty z Obr. 14

Pin	Název	Funkce (SPI)
1	CS	Chip Select
2	Data In	Vstup pro data (MOSI)
3	V <sub>SS1</sub>	Zem
4	V <sub>DD</sub>	Napětí
5	CLK	Hodinový signál
6	V <sub>SS2</sub>	Zem
7	Data Out	Výstup pro data (MISO)
8	IRQ	Nevyužito
9	NC	Nevyužito

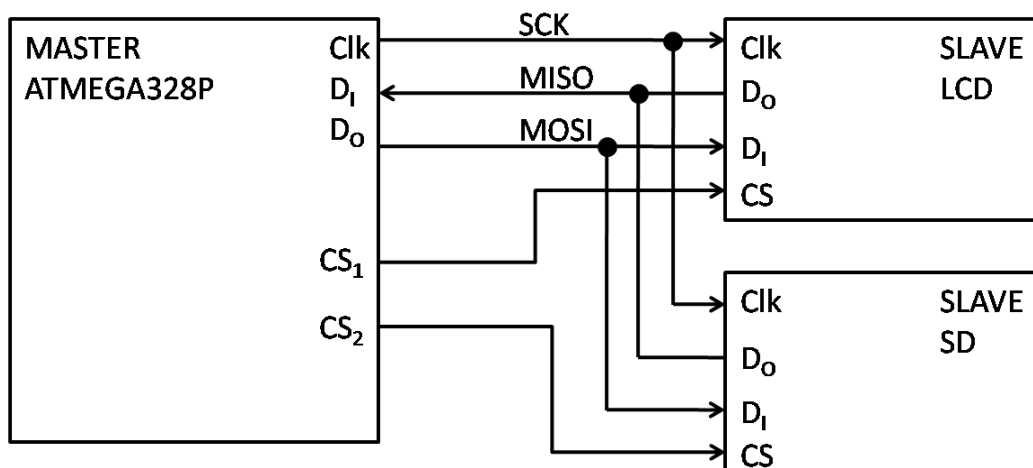
### 3.4.2 SPI (Serial Peripheral Interface)

Při komunikaci mezi mikrokontrolérem a SD kartou, potažmo i LCD displejem je využíváno sběrnice sériového periferního rozhraní. Tato dále popsaná sběrnice umožňuje komunikaci mezi dvěma či více přípojnými zařízeními (uzly). Přenosová rychlost je pro většinu aplikací více než dostačující a může dosahovat až 70 MHz. V běžných aplikacích se pohybujeme mezi hodnotami 1 MHz – 10 MHz. Pro komunikaci s SD kartou se však používá ještě nižší kmitočet a to 400 kHz [17].

Při komunikaci dvou popř. více uzlů jeden uzel vždy pracuje v režimu *master* a ostatní v režimu *slave*. Uzel, který pracuje jako *master* obsahuje generátor hodinového signálu, který je rozveden do všech ostatních uzlů, čímž je umožněn zcela synchronní obousměrný přenos dat. Hodinový signál je rozváděn vodičem označovaným SCK (Systém Clock). Kromě vodiče s hodinovým signálem jsou uzly propojeny dvojicí vodičů označovaných většinou symboly MISO (Master In, Slave Out) a MOSI (Master Out, Slave In), pomocí nichž se obousměrně přenáší data. Posledním signálem, který tato sběrnice používá je signál SSEL (Slave Select) někdy také CS (Chip Select), jenž slouží k výběru některého uzlu pracujícího v režimu *slave*. Všechny čtyři signály pro svou funkci vyžadují pouze jednosměrné porty, což přispívá k jednoduché a především levné implementaci této sběrnice.

Sběrnice SPI se kvůli implementační jednoduchosti používá v mnoha různých systémech, například pro komunikaci s některými typy paměti EEPROM, textovými i grafickým LCD panely, A/D a D/A převodníky atd. Mezi největší přednost sběrnice SPI patří její značná jednoduchost a tím i snadnost implementace. Jednoduché je jak elektrické rozhraní sběrnice, tak i přenosový protokol. Mezi nevýhody sběrnice SPI patří především existence pouze jednoho zařízení, které může pracovat v režimu *master*. Pomocí SPI je také možné přenášet data pouze na kratší vzdálenosti, což je dáno jednak nutností synchronizace hodinového signálu s přenášenými daty (shodné zpoždění), tak i neexistencí signálu typu ACK (acknowledge), kterým by se potvrzoval příjem dat a dovoľoval tak řídit rychlost přenosu dat v případě, že některé zařízení nedokáže data rychle zpracovat. Poslední nevýhodou, která však kvůli komunikaci na menší vzdálenosti není tak patrná je nutnost použít minimálně pět vodičů pro obousměrnou komunikaci – SCK, MISO, MOSI, SSEL (CS) a GND (signálová zem) a následnému růstu vodičů SSEL (CS) při připojování dalších *slave* zařízení. [16]





**Obr. 15:** Princip propojení více uzlů pomocí sběrnice SPI

Princip propojení více uzlů pomocí sběrnice SPI je názorně vidět na Obr. 15, kde je i názorně zobrazeno propojení dvou hlavních komponent v praktické části bakalářské práce. V každý okamžiku tedy komunikuje pouze jedno zařízení, které je aktivováno přivedením LOG 0 na vstup CS a hodinového signálu na vstup Clk.

### 3.5 RTC Obvod

Při zápisu na SD kartu bylo nutné okamžité rychlosti přiřadit prvek, který by ukazoval, jaký byl průběh rychlosti. Tímto prvkem je v našem případě čas. Kdy každé změně rychlosti je přiřazen aktuální čas z použitého RTC obvodu.

#### 3.5.1 DS1307Z

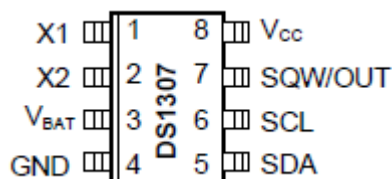
Je obvod reálného času použitý v praktické části bakalářské práce pro spojení okamžité rychlosti s aktuálním časem. DS1307 je nízkopříkonový obvod s 56 bytovou, bateriově zálohovanou, SRAM pamětí. Hodiny a kalendář poskytují informace o sekundách, minutách, hodinách, dnu v týdnu, dnu v měsíci, měsíci a roce. Datum na konci měsíce je automaticky přizpůsobeno měsícům s 31 dny a přestupným rokům. DS1307 pracuje jako *slave* zařízení u sběrnice I<sup>2</sup>C, která je popsána v následující kapitole. Obvod využívá externí krystal o velikosti 32,768 kHz.

Tabulka číslo 6 ukazuje adresovou mapu pro DS1307 RTC a RAM registr. RTC registr se nachází na adrese 00h až 07h. Adresa 07h slouží k nastavení parametru výstupního pinu SQW/OUT a pro tuto práci může být považován za nepodstatný. RAM registr se nachází na adrese 08h až 3Fh. [18]

**Tab. 6:** Adresy registru DS1307 [18]

Adresa	Bit 7	Bit 6	Bit 5	Bit 4	Bit 3	Bit 2	Bit 1	Bit 0	Funkce	Rozsah
00H	CH	10 sekund			1 sekund				Sekundy	00-59
01H		10 minut			1 minut				Minuty	00-59
02H	0	12	10 hod	10 hodin	1 hodin				Hodiny	1-12 +AM/PM 00-23
		24	PM/ AM							
03H	0	0	0	0	0	den			Den	01-07
04H	0	0	10 datum		1 datum				Datum	01-31
05H	0	0	0	10 měsíc	1 měsíc				Měsíc	01-12
06H	10 let				1 let				Rok	00-99
07H	OUT	0	0	SQWE	0	0	RS1	RS2	Řízení SQWE	---
08H-3FH									RAM 56 x 8	00H - FFH

V našem případě praktické realizace je použitý obvod v pouzdře SOIC8 s vývody vypsány na Obr. 16.



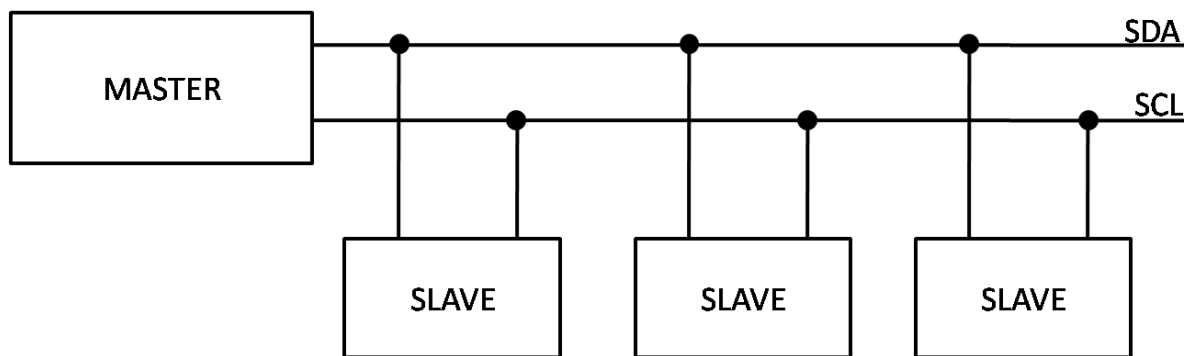
**Obr. 16:** DS1307 v pouzdře SOIC8 [18]

Vlastnosti [18]

- I<sup>2</sup>C sériové rozhraní
- Automatické přepnutí do zálohovacího režimu při odpojení napájení
- Zálohovací napětí: 2 V až 3,5 V
- V zálohovacím režimu spotřeba menší než 500 nA (při zálohování nejběžnější knoflíkovou baterií CR2032 teoretická výdrž až 50 let)
- Široký teplotní rozsah: -40 °C až 85 °C
- Podpora přestupného roku až do roku 2100
- Podpora 12 a 24 hodinového režimu

### 3.5.2 I<sup>2</sup>C

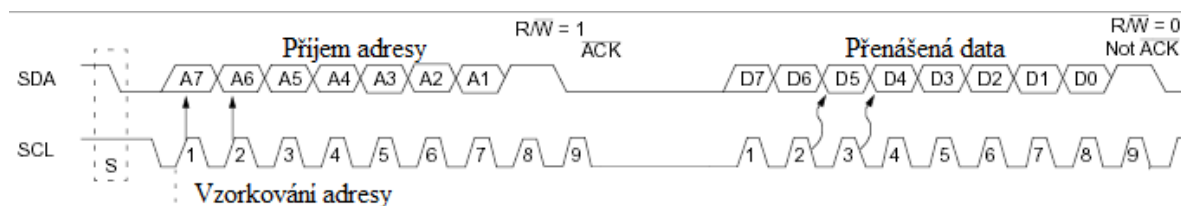
Při komunikaci mezi mikrokontrolérem a obvodem RTC je využito sběrnice I<sup>2</sup>C (Inter-Integrated Circuit). Někteří výrobci mikrokontrolrů (Atmel) tuto sběrnici značí TWI (Two Wire Serial Interface) Tato sběrnice je v několika ohledech podobná sběrnici SPI (hodinový signál, jediný uzel typu *master*) ovšem je zde několik odlišností. Tou nejzásadnější je, že obousměrný datový tok je na místo dvou vodičů (MISO, MOSI) provozován po jednom vodiči SDA (Serial Data Line). Tento způsob komunikace po jednom vodiči se nazývá poloduplexní. Tím je nastíněn první problém, který s touto sběrnici souvisí. Je vyžadována poněkud složitější interní struktura všech připojených zařízení, protože příslušné piny musejí být přepínatelné ze vstupního režimu na režim výstupní. Z výše popsaného textu je zřejmé, že popsaná sběrnice je složitější, ale zato flexibilnější, který používá především pro komunikaci na delší vzdálenosti. [19]



**Obr. 17:** Princip propojení více uzlů pomocí sběrnice I<sup>2</sup>C

Každému zařízení (nakonfigurovanému do módu *slave*) připojenému na sběrnici I<sup>2</sup>C musí být přidělena unikátní celočíselná adresa, aby bylo možné jednoznačně určit uzel, se kterým má zařízení typu *master* komunikovat. U sběrnice I<sup>2</sup>C se používá sedmibitová adresa přenášená v prvním bajtu, přičemž poslední přenesený bit (ten s nejnižší vahou) má význam přepínače mezi módem čtení a zápisu dat. Pomocí sedmibitové adresy lze teoreticky rozlišit až  $2^7 = 128$  různých zařízení. Prakticky je však toto číslo zmenšeno o několik rezervovaných adres. Tímto případem je i námi vybraný obvod DS1307, který má již továrně nastavenou adresu 1101000.

Průběh komunikace při adresování uzlů pomocí sedmibitové adresy je zobrazen na Obr. 18. Komunikace je zahájena start bitem, tj. přechodem signálu SDA z klidového stavu představovaného úrovní logické jedničky na datovém i hodinovém vodiči na úroveň logické nuly. Ihned po start bitu je možné zahájit přenos adresy. Zařízení *master* vyšle na sběrnici všech sedm bitů adresy, přičemž vždy při náběžné hraně hodinového signálu je již logická hodnota adresního bitu ustálena, takže ji mohou přečíst všechna zařízení typu *slave*. Poslední bit už jen určí, zda se bude z cílového *slave* zařízení číst (LOG 0), nebo se do něj bude zapisovat (LOG 1). Po přenosu všech osmi bitů provede každý uzel *slave* porovnání přijaté adresy se svoji vlastní adresou. Vybraný uzel poté musí potvrdit, že se na sběrnici skutečně nachází. Potvrzení (bit ACK – acknowledge) se v devátém cyklu hodin pošle zpět na zařízení typu *master*. Příjem logické nuly značí, že adresovaný uzel skutečně existuje a je možné s ním zahájit komunikaci, logická jednička naopak může znamenat, že uzel s danou adresou neexistuje, je odpojen či z jakýchkoliv jiných příčin není připraven komunikovat.[19]

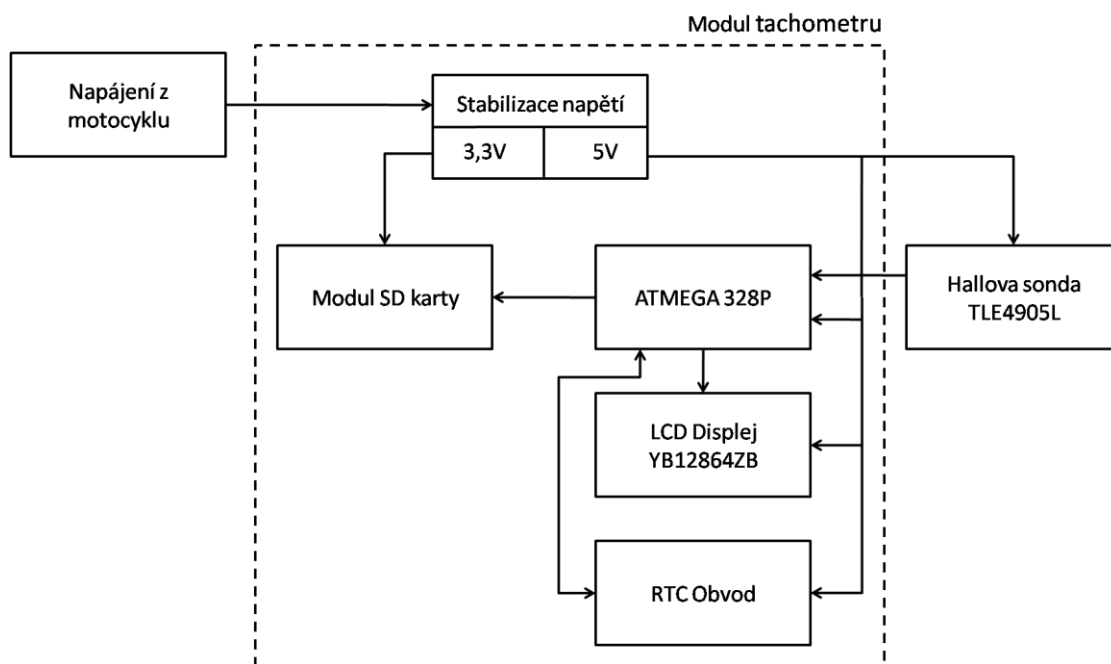


**Obr. 18:** Průběh komunikace při adresování uzlů pomocí sedmibitové adresy

## 4 Praktická realizace

Celý tachometr je tvořen ze dvou, resp. třech částí. První částí je čidlo připevněné na tlumiči motocyklu, které v sobě skrývá Hallovu sondu a snímá otáčky kola za pomoci magnetu upevněného ve výpletu kola. Pulzy ze sondy jsou poté přenášeny a zpracovány v hlavním modulu tachometru, jenž je tvořen ze dvou částí. Tu první tvoří DPS na které jsou veškeré řídicí a záznamové části. Základ je tvořen řídicím obvodem ATMEGA328P, který je napájen z 5 V stabilizátoru napětí. Tento obvod má na starosti snímání a zpracování signálu ze sondy, čtení aktuálního času z RTC obvodu, zápis aktuálních dat na SD kartu a vypsání informací na LCD displej. LCD displej je na samostatné DPS a tvoří druhou část modulu tachometru. Obě tyto části (DPS s hlavními částmi a LCD displej) jsou navzájem elektricky i mechanicky spojeny a tvoří tak jednotnou část.

### 4.1 Blokové schéma



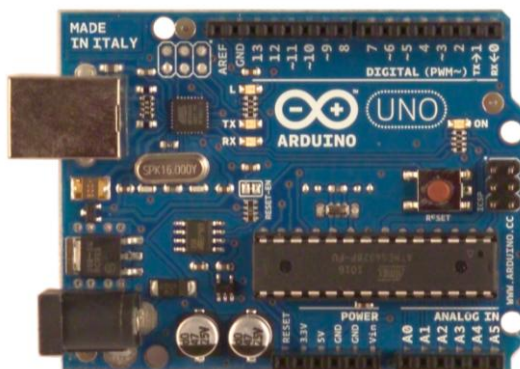
Obr. 19: Blokové schéma zapojení

## 4.2 Arduino Uno

Arduino Uno je mikroprocesorová deska založená na mikrokontroléru ATmega328. Má 14 digitálních vstupních/výstupních pinů (6 z nich může být použito pro pulzní kódovou modulaci), 6 analogových vstupů s 10bitovým A/D převodníkem, DC konektor pro napájení a tlačítko pro reset. Celý mikrokontrolér je taktován 16 MHz krystalem. Doporučené napájecí napětí je v rozsahu 7 – 12 V nebo 5 V po připojení pomocí USB. Z každého vstupního/výstupního pinu může být odebíráno až 40 mA.

Od flash paměti, která je u tohoto mikrokontroléru 32 kB, je potřeba odečíst 0,5 kB paměti, která je využita pro bootloader, což je v podstatě program umístěný na konci flash paměti, který se spouští ihned po přivedení napájení k mikrokontroléru. Jeho jediným úkolem je načíst aplikaci např. přes rozhraní UART, uložit do flash paměti, kde se on sám nachází a skočit na jeho první instrukci [12].

Arduino Uno je v bakalářské práci využíváno jako programátor pro mikrokontrolér ATMEGA328P.



Obr. 20: Arduino Uno [12]

### 4.2.1 Programování

Psaní kódu pro desku Arduino Uno probíhá ve stejnojmenném programu Arduino, který je multiplatformní (spustitelný na libovolném operačním systému podporující Java Virtual Machine). Toto programovací prostředí vychází z prostředí Processing a Wiring [20]. Jazyk, kterým se Arduino Uno programuje je velmi podobný C a C++.

Komunikace mezi počítačem probíhá pomocí sériové sběrnice UART (Universal Asynchronous Receiver and Transmitter). Tato sběrnice za pomoci pinů RX pro příjem dat a TX pro odesílání dat komunikuje se svým okolím, ať už jde o komunikaci s počítačem nebo jiným zařízením. Díky této sběrnici je tedy možné mikrokontrolér programovat a číst jeho paměti aniž by musel být vždy vytažen a připojen k externí programovací jednotce. Přes tuto komunikaci však nelze do mikrokontroléru nahrát bootloader popsany výše.

### 4.3 Napájení

Napájení tachometru je řešeno přivedením palubního napětí, které je v našem případě 7,2 V při nastartovaném motocyklu, 6 V při vypnutém motoru. Pro napájení většiny aktivních prvků je vyžadováno napětí 5 V. Vzhledem k malému spotřebě použitých prvků a rozdílu napětí pouze 2,2 V bylo usouzeno, že je vhodné použít stabilizátor na 5 V. Konkrétní typ L7805CV.

Zvláštní napájení vyžaduje SD karta, která pracuje s napětím 3,3 V a je na změnu napětí velice citlivá. Napětí 3,3 V však vyžadují i vstupní ovládací piny sběrnice SPI, zde stačilo vložit dělič napětí, viz schéma zapojení SD karty obr. Obr. 28.

### 4.4 Snímání otáček

Snímání otáček předního kola je řešeno za pomoci Hallovy sondy, popsané v kapitole 3.3, připevněné k přednímu tlumiči. Snímané magnetické pole je poté vytvořeno uchycením magnetu do výpletu kola. S výhodou je použita Hallova sonda TLE 4905L, jelikož ve svém pouzdře obsahuje navíc i Schmittův klopný obvod. Tento obvod slouží k úpravě tvaru impulzů, takže výstupním parametrem sondy bude pouze logická 1 nebo 0 v závislosti na přítomnosti magnetu. Touto výhodou odpadá použití A/D převodníku.

Jako tělo sondy byla použita sonda ze starého cyklopočítače s vyjmutými vnitřnostmi. Jelikož Hallova sonda reaguje na magnet do vzdálenosti přibližně 5mm, bylo nutné do těla sondy vytvořit hranatý otvor pro vložení sondy tak, aby byla co nejbližší magnetu a zároveň nevyčnívala ze sondy.

Kromě Hallovy sondy bylo ještě zvažováno použití magnetického jazýčkového kontaktu, který se běžně používá na cyklo tachometrech. Hallova sonda tedy byla použita především z experimentálního hlediska.

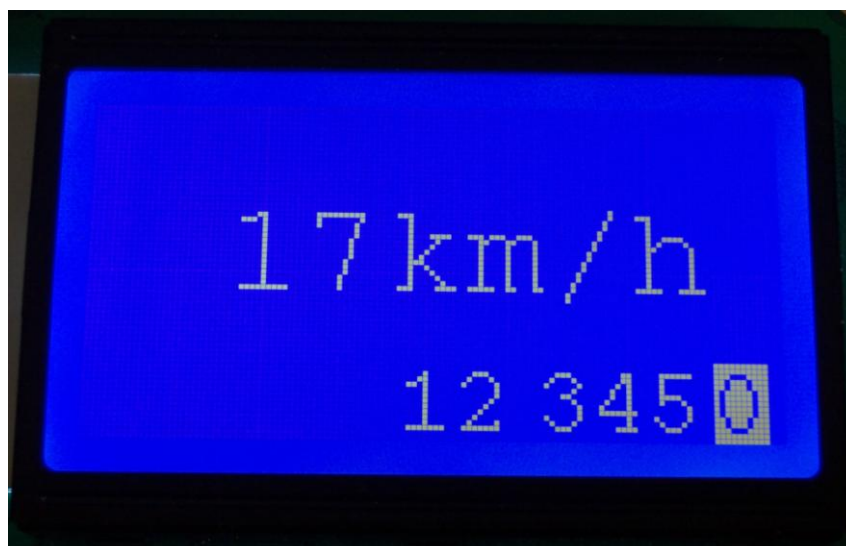


**Obr. 21:** Sonda tachometru

#### 4.5 Popis funkce tachometru

Pro praktické použití tachometru je nutné hlavní modul tachometru vhodně umístit na motocykl. Dále umístit magnet do výpletu kola a sondu vhodně připevnit k tlumiči nejlépe za pomoci stahovacích pásků. Do modulu tachometru přivést palubní napětí. Tachometr je konstruován pro palubní napětí malého motocyklu, které bývá při zapnutém motoru 7,2 V. Pro správnou činnost tachometru je nutné vložit SD kartu, na kterou budou nahrávána data z průběhu jízdy.

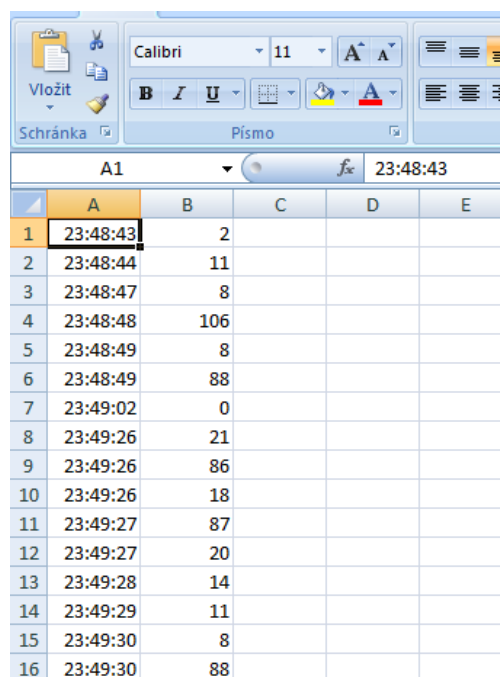
Po přivedení napětí se zobrazí úvodní logo a po 3 sekundách je tachometr připraven k použití. Základním údajem je okamžitá rychlost, která je uvedena ve středu displeje v jednotkách km/h. Maximální zobrazená rychlost tachometru je 95 km/h. Vzhledem k použití na malý motocykl do objemu 50ccm je zde dostatečná rezerva. Druhým zobrazeným údajem je informace o najetých kilometrech vozidla. Maximální zobrazenou hodnotou je 99 999,9 km. Nejmenší zobrazená změna kilometrovníku je tedy 100 m čili 0,1 km. Zobrazené údaje jsou na Obr. 22.



**Obr. 22:** Zobrazené informace tachometru

Pro informace o průběhu jízdy je nutné vyjmout SD kartu a vložit ji do počítače. Na kartě je vytvořený soubor s názvem DATA ve formátu “.csv“. Tento soubor je spustitelný v libovolném tabulkovém procesoru (Microsoft Office Excel, OpenOffice Calc atd.). V prvním sloupci jsou zaznamenány časy, ve druhém pak aktuální rychlost v příslušném čase. Program je napsaný, aby zapisoval pouze změnu rychlosti. Dojde-li tedy k situaci, že se vozidlo bude nějakou dobu pohybovat konstantní rychlostí, bude tuto dobu reprezentovat pouze jediný řádek v tomto souboru. Příklad ze zápisu dat je zobrazen na obr. Obr. 23.



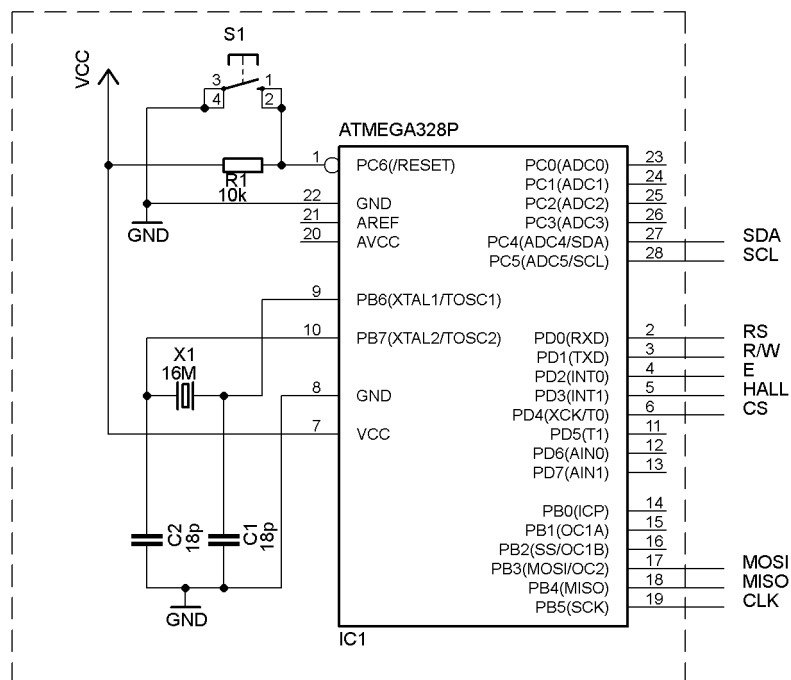


	A	B	C	D	E
1	23:48:43	2			
2	23:48:44	11			
3	23:48:47	8			
4	23:48:48	106			
5	23:48:49	8			
6	23:48:49	88			
7	23:49:02	0			
8	23:49:26	21			
9	23:49:26	86			
10	23:49:26	18			
11	23:49:27	87			
12	23:49:27	20			
13	23:49:28	14			
14	23:49:29	11			
15	23:49:30	8			
16	23:49:30	88			

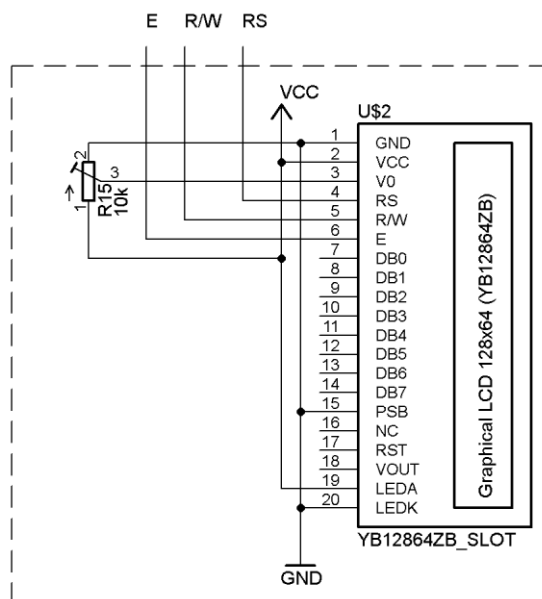
**Obr. 23:** Zápis dat do souboru na SD kartě

Tachometr je programově ošetřen pro případ zastavení čidla přímo před sondou tachometru tak, že se na tachometru objeví rychlost nula a nebude ani přičítána ujetá vzdálenost. Dále pokud se kolo zastaví a nebude se dále točit, popř. bude rychlost otáčení menší než 1 km/h, tak se na tachometru opět objeví nula. Pokud je rychlost menší než 10 km/h na displeji se automaticky skryje nula reprezentující desítkové násobky rychlosti. Nakonec je programově uchráněna paměť EEPROM, do které se zapisuje ujetá vzdálenost. Aktuální ujetá vzdálenost se do paměti zapisuje pouze při změně a přepisuje pouze jedno číslo, nikoliv celou ujetou vzdálenost. Při předpokladu, že maximální počet čtecích/zapisovacích cyklů je 100 000, pak "životnost" měřiče vzdálenosti je 10 000 km. Toto omezení je vcelku nepraktické. Řešením by mohlo být snížení rozlišení měřiče vzdálenosti na 1 km. Tímto by se životnost prodloužila na 100 000 km. Druhým řešením by mohlo být použití externí sériové EEPROM paměti, které se vyrábějí s maximálním počtem čtecích/zapisovacích cyklů až 1 000 000. Tímto by se životnost prodloužila na 100 000km při zachování rozlišení 0,1 km.

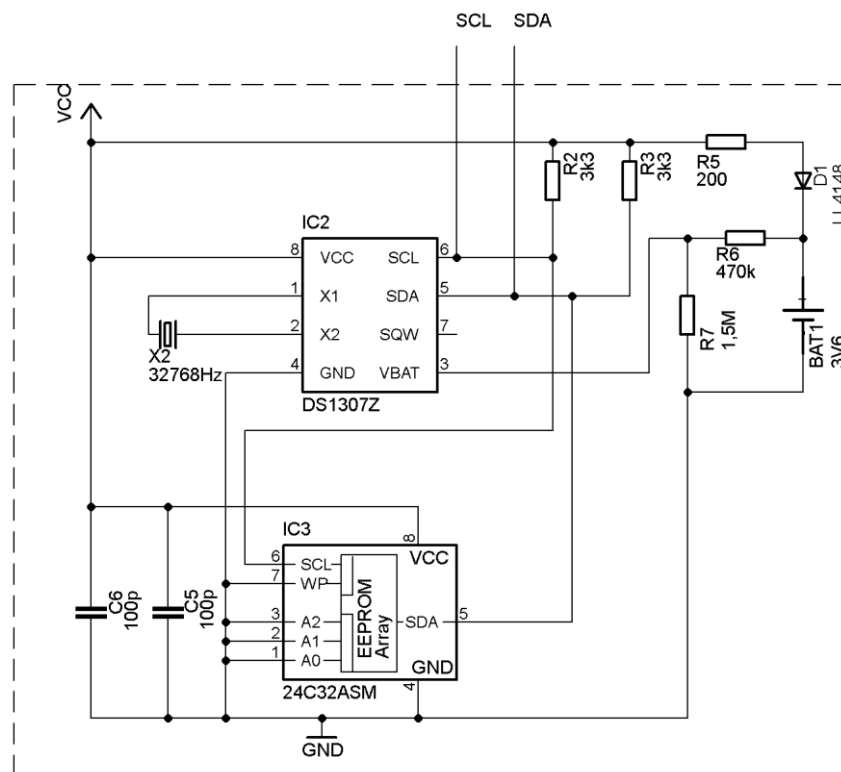
## 4.6 Schéma jednotlivých částí tachometru



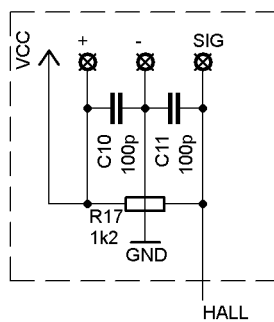
Obr. 24: Schéma procesorové části



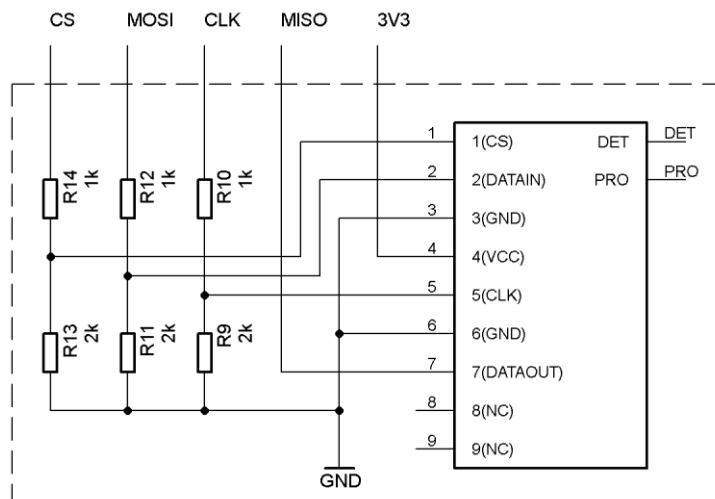
Obr. 25: Schéma zapojení LCD displeje



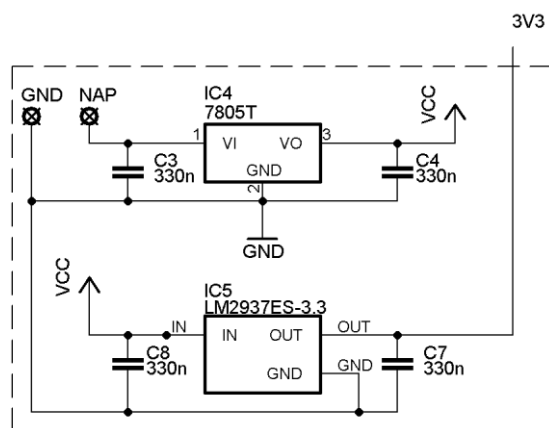
**Obr. 26:** Schéma zapojení RTC obvodu



**Obr. 27:** Schéma zapojení Hallový sondy do unipolárního režimu

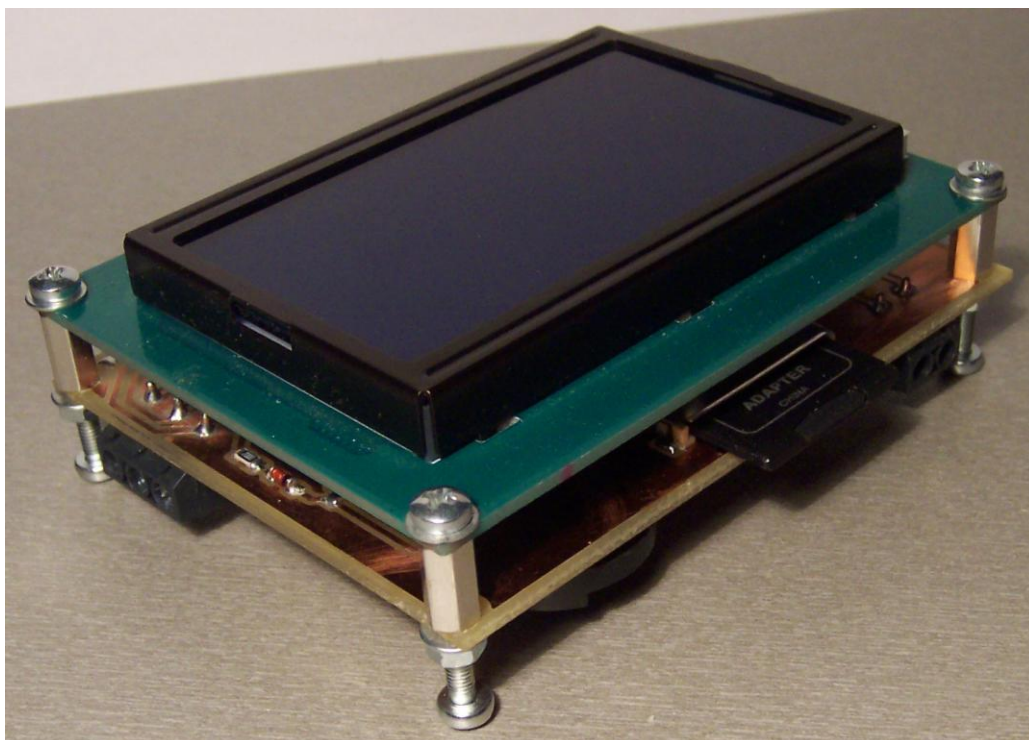


**Obr. 28:** Schéma zapojení SD slotu

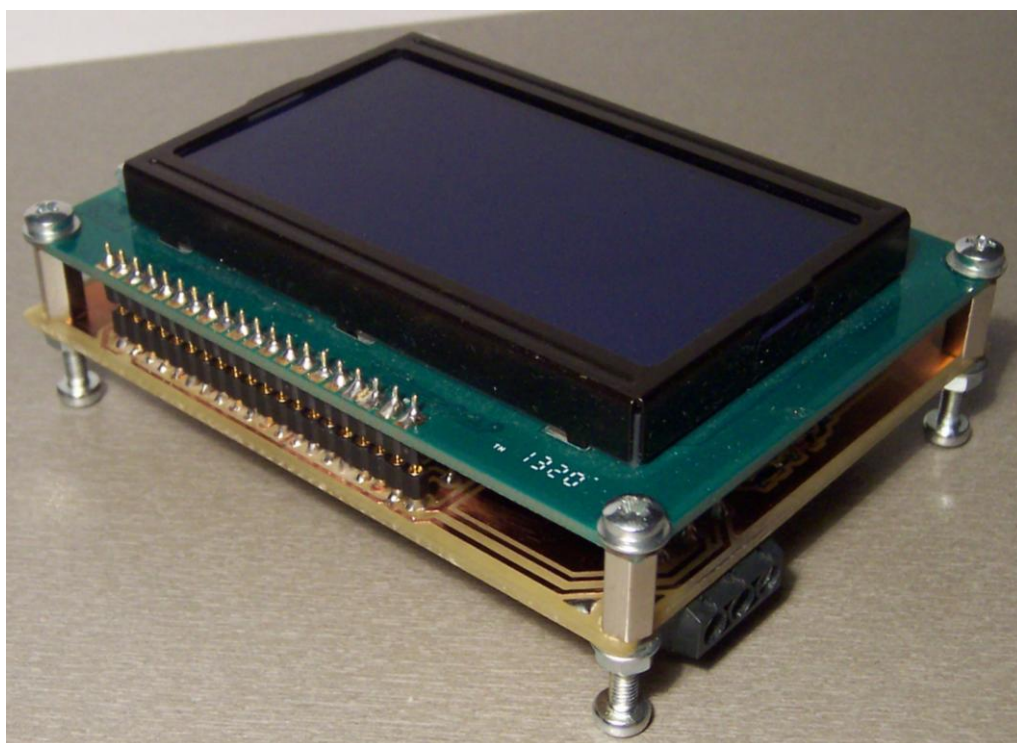


**Obr. 29:** Schéma napájecí části tachometru

#### 4.7 Zkompletovaný tachometr



Obr. 30: Zkompletovaný tachometr



Obr. 31: Zkompletovaný tachometr

## Závěr

Úkolem této bakalářské práce bylo navrhnout a realizovat digitální tachometr, který bude zaznamenávat rychlost otáčení kola, tento údaj vhodně ukládat a vykreslovat na grafický LCD displej. Uložená data poté zobrazit a zpracovat v PC.

Teoretická část práce se zabývá stručným přehledem dostupných tachometrů a pomáhá získat přehled mezi jednotlivými typy tachometrů, včetně jejich výhod, nevýhod, ale i funkcí a názorných ukázek běžně dostupných tachometrů. Dále jsou popsány definice průměrné a okamžité rychlosti a jejich jednotky jak pro běžnou Evropu, tak i tzv. imperiální jednotky.

Další část se zabývá testováním tachometrů pro běžný silniční provoz na základě předpisu EHK/OSN č. 39.

V práci jsou dále popsány základní stavební prvky praktické části digitálního tachometru, popsány jejich principy, vlastnosti a zdůvodnění jejich použití. Jmenovitě se jedná o LCD displej, mikrokontrolér, sondu snímání rychlosti, záznamové zařízení a obvod reálného času.

Praktickou částí práce je již sestrojený tachometr s připojenou sondou pro snímání rychlosti. Tachometr pracuje v rozsahu 0 – 95 km/h. Vzhledem k zamýšlenému konstruování pro malý motocykl do objemu 50ccm není tento rozsah nikterak limitující. Okamžitá rychlost je dále zapisována na SD kartu s přiřazením aktuálního času. Soubor do kterého jsou tyto údaje ukládány je možné otevřít v libovolném tabulkovém procesoru.

Nad rámec zadání byl k tachometru přidán ukazatel stavu tachometru. Toto počítadlo pracuje v rozsahu od 0 do 99 999,9 km. Má tedy rozlišení 100m, které je na grafickém displeji zvlášť odděleno. Tento údaj je zapsán v paměti EEPROM, takže po úplném odpojení napájecího napětí zůstane tento údaj uložen.

Jelikož finální výrobek považuji za zdařilejší, než jsem v úvodu práce očekával, rád bych po obhájení této práce pro něj našel praktické využití na svém motocyklu a přesvědčil se o jeho vlastnostech a kvalitách i z pohledu uživatele. Popř. se pokusil odstranit jeho případné nedostatky ať už ze softwarové, tak i z hardwarové části.

## Seznam použité literatury

- [1] INSTRUMENT MOTOSCOPE TINY. *Louis: Motorrad & Freizet* [online]. 2013 [cit. 2013-12-3]. Dostupné z: [http://www.louis.de/index.php?topic=artnr\\_gr&artnr\\_gr=10034684](http://www.louis.de/index.php?topic=artnr_gr&artnr_gr=10034684)
- [2] DIGITAL-COCKPIT. *Louis: Motorrad & Freizet* [online]. 2013 [cit. 2013-12-7]. Dostupné z: [http://www.louis.de/\\_10ebb439577c3d4543fe3c2effe206a955/index.php?topic=artnr\\_gr&artnr\\_gr=10034839](http://www.louis.de/_10ebb439577c3d4543fe3c2effe206a955/index.php?topic=artnr_gr&artnr_gr=10034839)
- [3] The Physics Hypertextbook. *The Physics Hypertextbook* [online]. 2013 [cit. 2013-12-7]. Dostupné z: <http://physics.info/velocity/>
- [4] EU. Předpis Evropské hospodářské komise Organizace spojených národů (EHK/OSN) č. 39: Jednotná ustanovení pro schvalování vozidel, pokud jde o rychloměrné zařízení včetně jeho montáže. In: *WP.29/343*. 2002. Dostupné z: <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2010:120:0040:0048:CS:PDF>
- [5] MATOUŠEK, David. *Práce s inteligentními displeji LCD: [znakové a grafické displeje, přípravy a programy]*. 1 vyd. Praha: BEN - technická literatura, 2006, s. 2. ISBN 80-7300-121-7.
- [6] Sitronix, “LCD display with controller”, YB12864ZB datasheet, 2007
- [7] 3-wire Serial LCD Module. *DFRobot* [online]. 2013 [cit. 2013-12-17]. Dostupné z: [http://www.dfrobot.com/wiki/index.php/3-wire\\_Serial\\_LCD\\_Module\\_\(Arduino\\_Compatible\)\\_\(SKU:DFR0091\)](http://www.dfrobot.com/wiki/index.php/3-wire_Serial_LCD_Module_(Arduino_Compatible)_(SKU:DFR0091))
- [8] OLIVKA, Petr. *Architektura počítačů*. Ostrava, 2010. Studijní materiál. VŠB-TU Ostrava.
- [9] Atmel, “8-bit Microcontroller with 4/8/16/32K Bytes In-System Programmable Flash”, ATmega328P datasheet, 2009.
- [10] HALLIDAY, David. *Fyzika: Vysokoškolská učebnice obecné fyziky*. 1. vyd. Brno: VUTIUM, 2000, 749 - 750. ISBN 80-214-1869-9.
- [11] Siemens, “Uni- and Bipolar Hall IC Switches for Magnetic Field Applications”, TLE 4905 L datasheet, 1997.
- [12] Arduino Uno Overview. *Arduino* [online]. 2012 [cit. 2013-12-15]. Dostupné z: <http://arduino.cc/en/Main/ArduinoBoardUno>
- [13] *UArt* [online]. 2011 [cit. 2013-12-18]. Dostupné z: [www.uart.cz](http://www.uart.cz)

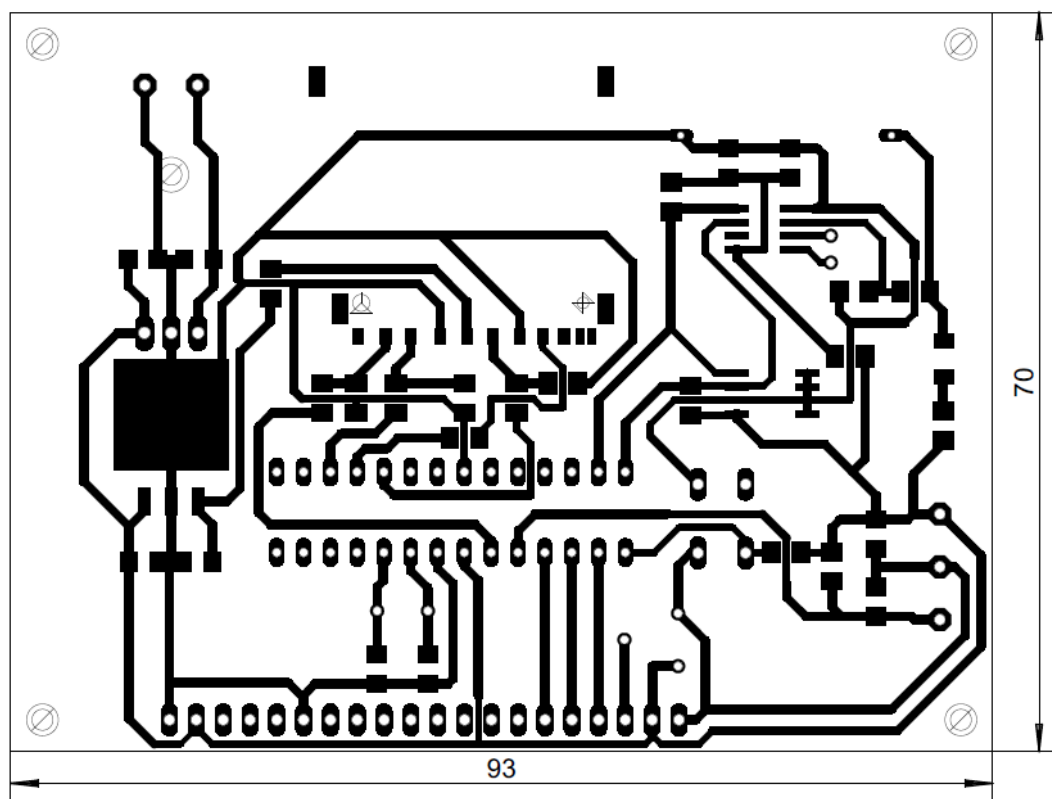
- [14] Historie a vývoj paměťových karet. STANISLAV, Martin. *Masarykova Univerzita: Fakulta informatiky* [online]. 2002 [cit. 2014-05-19]. Dostupné z: <http://www.fi.muni.cz/usr/jkucera/pv109/2003p/xstanisl.htm>
- [15] Jak funguje paměťová karta?. *DataHelp* [online]. 2011 [cit. 2014-05-19]. Dostupné z: <http://www.zachrana-dat-sd.cz/pametove-karty>
- [16] Externí sériové sběrnice SPI a I<sup>2</sup>C. *Root.cz* [online]. 2008 [cit. 2014-05-20]. Dostupné z: <http://www.root.cz/clanky/externi-seriove-sbornice-spi-a-i2c/>
- [17] Řešení pro zápis na paměťové karty (SD), MCU Atmega16. HAVEL, Ladislav. *Hw.cz* [online]. 2009 [cit. 2014-05-20]. Dostupné z: <http://www.hw.cz/navrh-obvodu/reseni-pro-zapis-na-pametove-karty-sd-mcu-atmega16.html>
- [18] Dallas semiconductor, “DS1307 64 x 8, Serial, I<sup>2</sup>C Real-Time Clock”, DS1307Z datasheet, 2006.
- [19] Komunikace po sériové sběrnici I2C. *Root.cz* [online]. 2009 [cit. 2014-05-21]. Dostupné z: <http://www.root.cz/clanky/komunikace-po-seriove-sbornici-isup2supc/>
- [20] Interview with Casey Reas and Ben Fry. *Rhizome* [online]. 2009 [cit. 2014-05-22]. Dostupné z: <http://rhizome.org/editorial/2009/sep/23/interview-with-casey-reas-and-ben-fry/>



## Seznam příloh

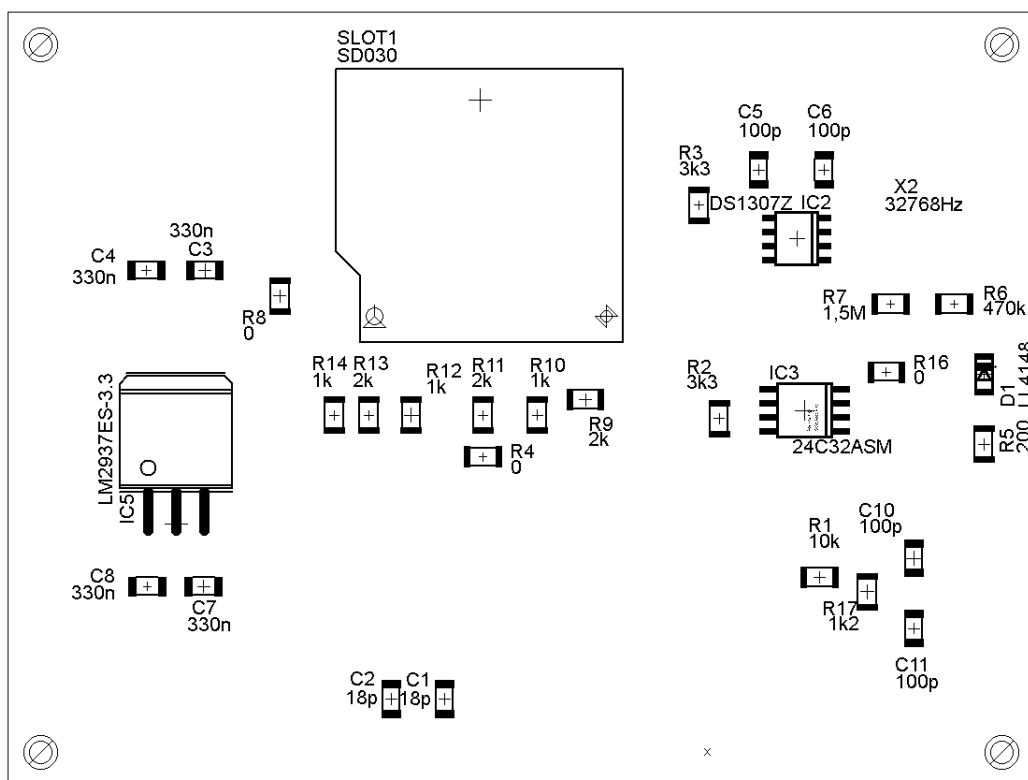
<i>Motiv desky plošného spoje .....</i>	<i>50</i>
<i>Osazovací plán.....</i>	<i>51</i>
<i>Seznam součástek .....</i>	<i>53</i>
<i>Doplňující fotografie .....</i>	<i>54</i>

**Motiv desky plošného spoje**

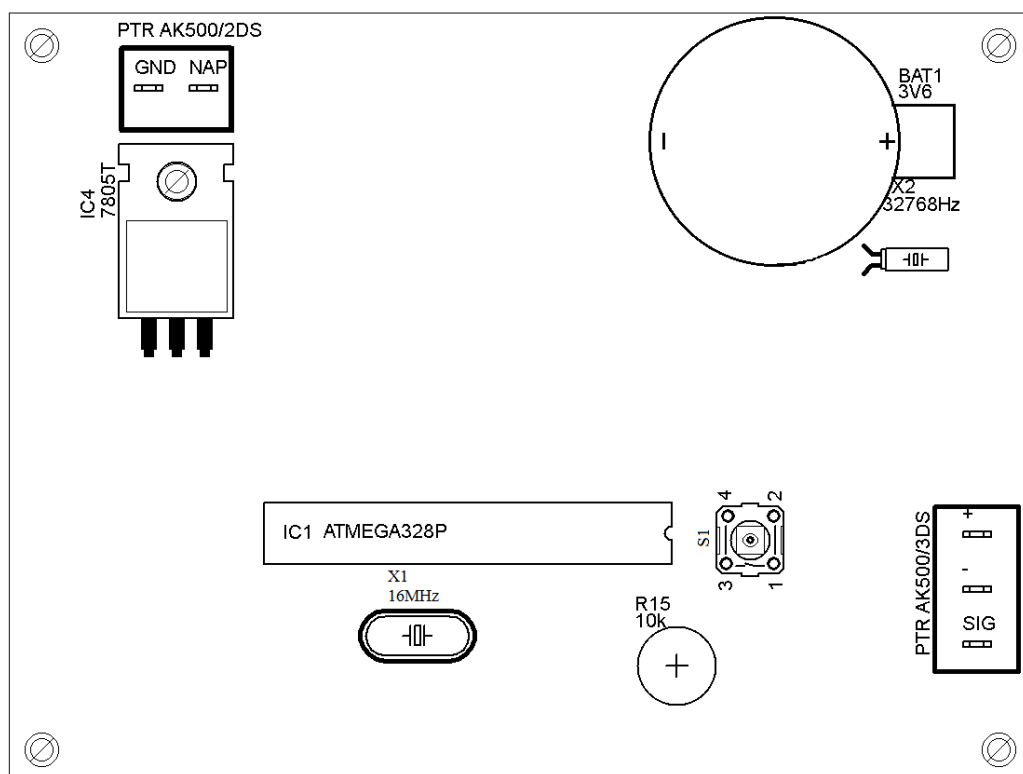


**Obr. P1:** Motiv plošného spoje ze strany top

## Osazovací plán



**Obr. P2:** Osazovací plán ze strany top



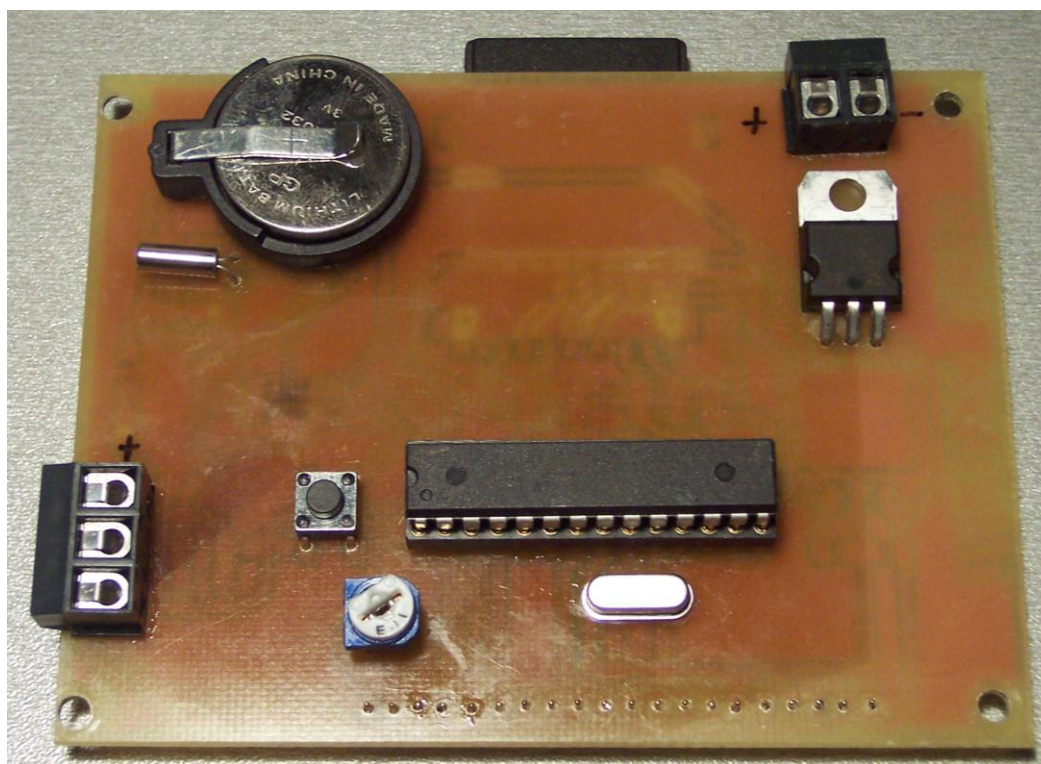
**Obr. P3:** Osazovací plán ze strany bottom

## Seznam součástek

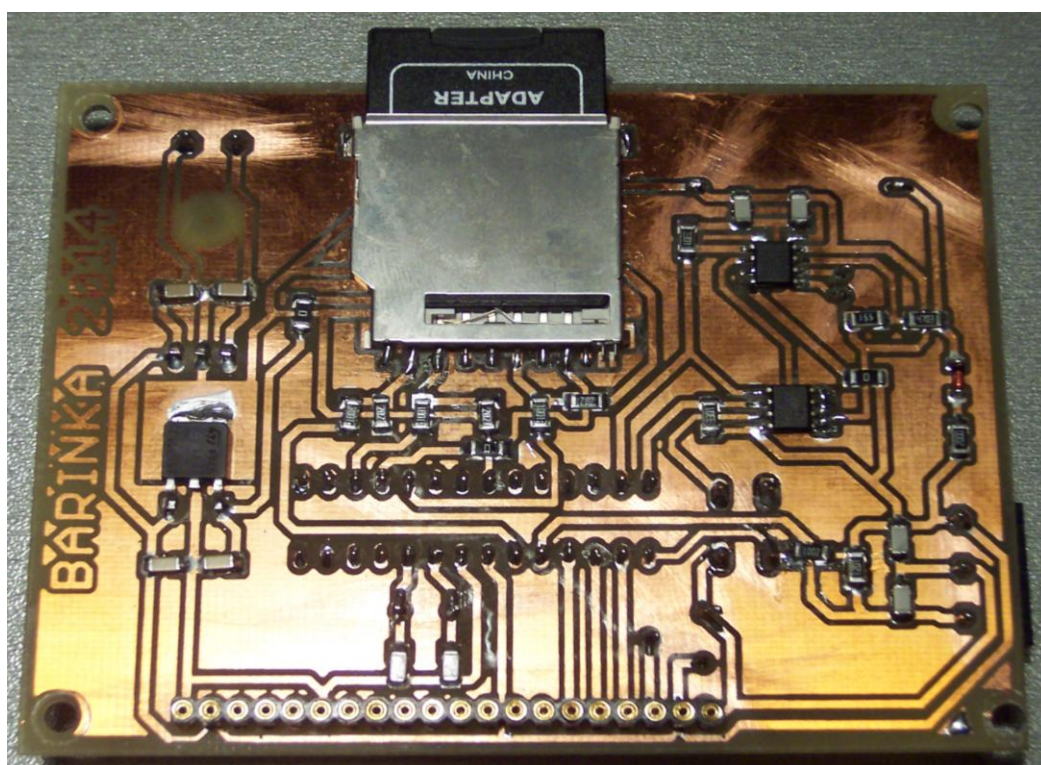
Tab. P1: Seznam součástek

Označení ve schématu	Hodnota	Pouzdro
BAT1	3,6V	LR2032
C1, C2	18pF	1206
C3, C4, C7, C8	330nF	1206
C5, C6, C10, C11	100pF	1206
D1	LL4148	MINIMELF (SOD80)
R1	10k $\Omega$	1206
R2, R3	3,3k $\Omega$	1206
R4, R8, R16	0 $\Omega$	1206
R5	200 $\Omega$	1206
R6	470k $\Omega$	1206
R7	1,5M $\Omega$	1206
R9, R11, R13	2k $\Omega$	1206
R10, R12, R14	1k $\Omega$	1206
R15	10k $\Omega$	5x5 trimr
R17	1,2k $\Omega$	1206
S1	TM043	
SLOT1	SD030	
X1	16MHz	HC49US
X2	32,768kHz	DT38
IC1	ATMEGA328P	SDIP28
IC2	DS1307Z	SOIC8
IC3	24C32ASM	SOIC8
IC4	L7805CV	TO220H
IC5	LM2937ES-3.3	DPAK
	TLE4905	P-SSO-3-2

**Doplňující fotografie**



**Obr. P4:** Osazený plošný spoj ze strany bottom



**Obr. P5:** Osazený plošný spoj ze strany top